

**PENGARUH PENGGUNAAN AIR LAUT DAN UKURAN DROPLET
TERHADAP EFEKTIFITAS KADAR PARTIKULAT GAS BUANG
PADA INSINERATOR SAMPAH**



Disusun oleh :

Nama : Zikrayn Perkasa

No. Reg : 5315122783

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN VOKASIONAL TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN - FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA**

2018

HALAMAN PENGESAHAN

NAMA DOSEN

TANDA TANGAN

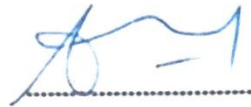
TANGGAL

Dr Darwin Rio Budi Syaka
NIP : 197604222006041001
(Dosen Pembimbing I)



6/2 2018

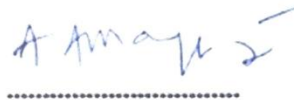
Ahmad Kholil, ST. MT
NIP : 197908312005011001
(Dosen Pembimbing II)



6/2 2018

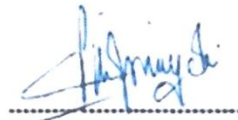
PENGESAHAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

Aam Aminingsih Jumhur, Ph.D
NIP : 197110162008122001
(Ketua Sidang)



8/2 2018

Siska Titik Dwiwati, S.Si. MT
NIP : 197812122006042002
(Sekretaris)



6/2 2018

I Wayan Sugita, ST. MT
NIP : 197911142012121001
(Dosen Ahli)



6/2 2018

Mengetahui,

Ketua Program Studi Pendidikan Vokasional Teknik Mesin



Ahmad Kholil, ST. MT
NIP : 197908312005011001

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Bertanda tangan di bawah ini, saya :

Nama : Zikrayn Perkasa

No.Reg : 5315122783

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul “*Pengaruh Penggunaan Air Laut dan Ukuran Droplet Terhadap Kadar Partikulat Gas Buang Pada Insenerator Sampah*”. Merupakan benar karya saya sendiri. Hal-hal yang bukan karya saya diberi tanda dan dicantumkan dalam daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari pernyataan saya terbukti tidak benar maka saya siap menerima sanksi berupa pencabutan skripsi dan gelar sarjana yang saya peroleh dari skripsi tersebut.

Jakarta, 2 Februari 2018


METERAI
TEMPEL
90036AEF777839981
5.000
RUPIAH
Zikrayn Perkasa

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan nikmat sehat dan kelancaran kepada penulis sehingga penulis bisa menyelesaikan penyusunan skripsi ini tepat waktu. Penulisan skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.

Dalam proses penulisan ini seringkali penulis mengalami kendala dan hambatan ketika melakukan penelitian maupun dalam penyusunan skripsi ini. Namun, dengan diberikan bimbingan dan bantuan dari pembimbing maka penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini tepat waktu. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr.Darwin Rio Budi Syaka, ST.MT. selaku dosen pembimbing I yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk membimbing dan mengarahkan penulis dalam penyusunan dan proses penelitian pada skripsi ini;
2. Ahmad Kholil, ST.MT. selaku dosen pembimbing II yang juga telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk membimbing dan mengarahkan penulis dalam penyusunan dan proses penelitian pada skripsi ini, dan sekaligus sebagai Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta.

3. Segenap dosen dan staf jurusan Teknik Mesin Universitas negeri jakarta yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan selama menjalani perkuliahan
4. Segenap Staff karyawan bengkel Otomotif universitas negeri jakarta yang telah membantu penulis dan telah memberikan masukan dalam proses pengujian
5. Seluruh rekan – rekan mahasiswa jurusan teknik mesin universitas negeri jakarta

Penulis menyadari jika penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan dan masih memiliki kekurangan – kekurangan, maka dari itu penulis mengharap saran dan kritik yang membangun dari pembaca.

Semoga skripsi yang penulis buat ini memberi manfaat kepada penulis maupun kepada pembaca lainnya sehingga bertambah pengetahuannya mengenai insenerator bagi mahasiswa Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta. Amin.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Jakarta,

Zikrayn Perkasa

ABSTRAK

Zikrayn Perkasa. “Pengaruh Penggunaan Air Laut dan Ukuran Droplet Terhadap Kadar Partikulat Gas Buang Pada Insenerator Universitas Negeri Jakarta”. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.

Penelitian ini bertujuan untuk menunjukkan pengaruh penggunaan air laut dan ukuran droplet terhadap kadar partikulat gas buang pada insenerator Universitas Negeri Jakarta terhadap penurunan kadar opasitas, CO₂ dan suhu gas buang pembakaran sampah anorganik. Peneliti melakukan pengujian pada gas buang insinerator tanpa tangki pembilasan, dengan *droplet size scrubber* besar, dan gas buang insinerator menggunakan *droplet size scrubber* kecil terhadap kadar opasitas, CO₂, suhu dan warna gas buang dengan menggunakan media air laut sebagai sistem recycle fluida. Kadar opasitas tertinggi pada pengujian gas buang tanpa tangki, menggunakan tangki pembilasan dengan *droplet size scrubber* besar, menggunakan tangki pembilasan *droplet size scrubber* kecil adalah 99.3% dan 97.7%, dan 92.1%, 86.2% dan 84.6%. 81.0 Kadar CO₂ tertinggi dan pada pengujian gas buang tanpa tangki, menggunakan tangki pembilasan *droplet size scrubber* besar, menggunakan tangki pembilasan *droplet size scrubber* kecil adalah 4.2% dan 0.9% dan 0.6%. Suhu gas buang tanpa tangki 50⁰C, untuk suhu gas buang menggunakan tangki baik pembilasan dengan *droplet size scrubber* besar dan *droplet size scrubber* kecil adalah 32⁰C.

Pembilasan system *water scrubber* dilengkapi dengan 4 buah *misting nozzle* bertipe *hollow cone* dengan sudut penyerapan 90°. Penurunan kadar opasitas yang efektif adalah sebesar 17,44%, sedang penurunan kadar CO₂ yang efektif adalah 2.64%. Pembilasan system *water scrubber* menggunakan *droplet size* kecil lebih efektif dikarenakan droplet ukuran kecil ini menghasilkan jumlah butiran yang lebih banyak dibandingkan dengan penggunaan *droplet size* besar.

Kata kunci : Sampah, Insenerator, *Water scrubber*, *Droplet size*

ABSTRACT

Zikrayn Perkasa. *“The Influence of Using The Sea Water and Droplet Size Toward The Effectiveness Levels of Particulate of Exhaust Gas At Waste Incinerator”*. Departement of mechanical Engineering. Faculty of Engineering. State University of jakarta.

This study aims to show the effect of sea water usage and droplet size on particulate gas content in incenerator of State University of Jakarta to decrease the level of opacity, CO₂ and temperature of exhaust gas inorganic waste. The researchers tested incinerator flue gas without flushing tank, with large droplet size scrubber, and incinerator flue gas using small size scrubber droplet to the level of opacity, CO₂, temperature and color of exhaust gas using seawater media as recycle fluid system. The highest level of opacity in the tankless exhaust gas testing, using the rinsing tank with large size scrubber droplets, using small droplet size scrubber tanks was 99.3% and 97.7%, and 92.1%, 86.2% and 84.6%. 81.0 The highest CO₂ content and on the tank exhaust gas test, using large droplet scraping droplet tank, using a small scrubber droplet flushing tank is 4.2% and 0.9% and 0.6%. The temperature of the exhaust gases without a 500C tank, for the exhaust gas temperature using a well flushing tank with large droplet size scrubber and small size scrubber droplet is 32°C.

Flushing water scrubber system is equipped with 4 pieces of hollow cone nozzle type hello cone with absorption angle 90°. The decrease of effective opacity level was 17,44%, meanwhile the decrease of effective CO₂ level was 2.64%. Flushing the water scrubber system using a small droplet size is more effective because this small droplet produces more grain quantities than the use of large droplets of size.

Keywords: Trash, Insenerator, Water scrubber, Droplet Size

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN UJIAN SKRIPSI	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORASINALITAS	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xi

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latarbelakang masalah.....	1
1.2. Idetifikasi masalah	3
1.3. Pembatasan masalah.....	3
1.4. Perumusan masalah.....	4
1.5. Tujuan Penelitian	4
1.6. Manfaat penelitian.....	5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian insinerator.....	6
2.2. Klasifikasi insinrator	7
2.3. Prinsip Proses insinerator	7
2.4. Bagian pada insinerator	8
2.4.1. Ruang bakar dan ruang abu	8
2.4.2. Unit pengendali gas buang.....	9
2.4.3. Bagian cerobong	10
2.5. Karakteristik sampah.....	10
2.5.1. Komposisi kimia	10
2.5.2. Kandungan energi	13
2.6. Persamaan-persamaan kesetimbangan	14
2.7. Prinsip dasar <i>wet scrubber</i>	14
2.7.1. Sistem <i>wet scrubber</i>	16
2.7.2. Prinsip operasi <i>wet scrubber</i>	17

2.8. Parameter desain <i>wet scrubber</i>	18
2.8.4. <i>Water gas flow rate, temperature, and humidity</i>	19
2.8.5. Kecepatan gas dan <i>pressure drop</i>	19
2.8.6. <i>Liquid to gas ratio (L/G)</i>	19
2.8.7. <i>Droplet size</i>	20
2.9. Metode penyerapan partikel	20
2.10. Dinamika fluida.....	21
2.10.1. Persamaan kontinuitas	22
2.10.2. Persamaan Bernoulli.....	22
2.11. Metode Penelitian.....	23
2.12. Hasil Penelitian Sebelumnya.....	24
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1. Tujuan penelitian.....	26
3.2. Alat dan bahan.....	26
3.2.1. Alat	26
3.2.2. Bahan	27
3.3. Diagram Alur Penelitian	28
3.4. Skema Proses pada Insinerator.....	29
3.4.1. Tungku Insinerator.....	30
3.4.2. Blower	31
3.4.3. Saluran Asap Tungku ke Tangki.....	31
3.4.4. Tangki Pembilasan	32
3.4.5. Pompa Air	33
3.4.6. Water Scrubber	33
3.4.7. Misting Nozzle.....	34
3.4.8. Cerobong Asap.....	36
3.4.9. Filter Air.....	37
3.4.10. Tangki Recycle Fluida	38
3.5. Parameter Pengujian.....	38
3.6. Perakitan.....	38
3.6.1 Pemasangan bagian – bagian pada tangki pembilasan.....	38
3.6.2 Penempatan Sistem Water Scrubber	39

3.7. Cara Kerja Sistem	40
3.7.1 Proses Pembilasan	40
3.7.2 Sistem Water Scrubber	41
3.8. Analisis Data	43
3.9. Skema Eksperimen	45
3.10. Karakteria Pengujian Alat	47

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil penelitian.....	53
4.2. Hasil Analisis data.....	54
4.2.1. Pengaruh <i>droplet size</i> terhadap opasitas gas buang	54
4.2.2. Pengaruh <i>droplet size</i> terhadap kadar CO ₂ gas buang	61
4.2.3. Pengaruh <i>droplet size</i> terhadap suhu	67
4.2.4. Pengaruh <i>droplet size</i> terhadap warna gas buang	68
4.2.5 Perbandingan media air laut dan air terhadap kadar opasitas	69
4.2.6 Perbandingan media air laut dan air terhadap kadar CO ₂	70

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan	72
5.2. Saran.....	73

DAFTAR PUSTAKA	74
----------------------	----

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Diagram Kadar Opasitas Gas Buang	24
Gambar 2.2. Diagram Kadar CO ₂ Gas Buang	24
Gambar 3.1. Alur Diagram Penelitian	28
Gambar 3.2. Skema Proses Pada Insinerator	29
Gambar 3.3. Skema <i>Cloesd System</i> Pada Insinerator.....	30
Gambar 3.4. Tungku Insinerator (2 dimensi).....	31
Gambar.3.5. Blower	31
Gambar.3.6. Saluran Asap Tungku ke Tangki (2 dimensi).....	32
Gambar.3.7. Saluran Asap Tungku ke Tangki (3 dimensi).....	32
Gambar.3.8. Rancang Tangki Tampak Depan dan Samping (2D)	33
Gambar.3.9. Spesifikasi pompa Air	33
Gambar.3.10. Rancang <i>water scrubber</i> (2dimensi)	34
Gambar.3.11. <i>water scrubber</i>	34
Gambar.3.12. <i>Assembly misting nozzle</i> (2 dimensi).....	35
Gambar.3.13. Bagian pertama pada <i>assembly misting nozzle</i>	35
Gambar.3.14. Bagian kedua pada <i>assembly misting nozzle</i>	36
Gambar.3.15. Bagian ketiga pada <i>assembly misting nozzle</i>	36
Gambar.3.16. <i>Misting nozzle</i>	36
Gambar.3.17. Cerobong (2D)	37
Gambar.3.18. Cerobong (3 dimensi).....	37
Gambar.3.19. Filter Air.....	38
Gambar.3.20. Perakitan Tangki pada nsinerator.....	39
Gambar.3.21. Pemasangan <i>water scrubber</i>	40
Gambar.3.22. Proses Pembilasan <i>water scrubber</i>	41
Gambar.3.23. <i>Impaction</i> Butiran Air TerhadapPartikulat.....	42
Gambar.3.24. Skema eksperimen	45
Gambar.3.25. <i>Smoke Meter</i>	48
Gambar.3.26. <i>Exhaust Analizer</i>	49
Gambar.4.1. Diagram kadar opasitas gas buang	54
Gambar.4.2. Hasil <i>impaction</i> air terhadap partikel abu	55
Gambar.4.3. Diagram kadar CO ₂ gas buang	61

DAFTAR TABEL

Tabel.2.1. Klasifikasi insinerator	7
Tabel 2.2 <i>Manicipal solid waste</i>	11
Tabel 2.3 Unsur sampah kering	12
Tabel 2.4 Kandungan energi sampah	13
Tabel 2.5 Pengamatan Warna asap	25
Tabel 3.1. Pengukuran opasitas gas buang.....	48
Tabel 3.2. Pengukuran kadar CO ₂	49
Tabel 3.3. Pengukuran Suhu	50
Tabel 3.4. Pengamatan warna asap	51
Tabel 3.5. Perbandingan Kadar Opasitas	51
Tabel 3.6. Perbandingan Kadar CO ₂	52
Tabel 4.1. <i>Descriptives</i> Opasitas Terhadap Pengujian.....	56
Tabel 4.2. <i>Test of Homogeneity of Variances</i>	57
Tabel 4.3. <i>Anova (One Way Variance)</i> Opasitas.....	58
Tabel 4.4. <i>Post Hoc Test</i> Opasitas	59
Tabel 4.5. Descriptives Kadar CO ₂ Terhadap Pengujian	63
Tabel 4.6. <i>Test of Homogeneity of Variances</i>	63
Tabel 4.7. Anova Kadar CO ₂	64
Tabel 4.8. <i>Post Hoc Test</i> CO ₂	66
Tabel 4.9. Pengaruh <i>Droplet Size</i> Terhadap suhu	67
Tabel 4.10. Pengaruh <i>Droplet Size</i> Terhadap Warna Gas Buang	68
Tabel 4.11. Perbandingan Kadar Opasitas	70
Tabel 4.12. Perbandingan Kadar CO ₂	71

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latarbelakang masalah

Pada era modern ini tentunya kehidupan manusia tidak terlepas dari berbagai macam masalah lingkungan. Mulai dari pemanasan global, menipisnya sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui serta meningkatkan tingkat polusi di udara baik yang diakibatkan oleh gas pembuangan industri, penggunaan alat transportasi, maupun dari hasil pembakaran sampah di lingkungan sekitar. Sesuai dengan Peraturan Pemerintah No.18 tahun 1999 menyatakan bahwa setiap orang yang melakukan usaha dan/atau kegiatan yang menggunakan bahan berbahaya dan beracun (B3) dan/atau menghasilkan limbah B3 wajib mengelola limbahnya mulai dari sumber penghasil hingga pemusnahannya. Limbah B3 didefinisikan sebagai limbah padat atau kombinasi dari limbah padat yang karena jumlah, konsentrasinya, sifat fisik, kimia maupun yang bersifat infeksi yang dapat menyebabkan kematian dan penyakit yang tidak dapat pulih, yang substansinya dapat membahayakan bagi kesehatan manusia atau lingkungan.

Dalam mengelola sampah rumah tangga ada beberapa cara dalam proses pengolahan sampah tersebut. Seperti dengan cara mendaur ulang, mengubah sampah menjadi pupuk yang terbuat dari sampah organik dan melakukan proses pembakaran secara terbuka. Namun dari cara di atas banyak masyarakat yang lebih memilih mengelola sampah melalui pembakaran secara terbuka. Mengelola sampah secara terbuka nyatanya menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Dampak lingkungan yang diakibatkan oleh pembakaran secara

terbuka tersebut ialah terbentuknya kadar CO₂ dan partikulat abu (opasitas) yang tercipta dari sisa pembakaran sampah yang tidak sempurna. Sisa hasil pembakaran inilah yang dikhawatirkan karena dapat mencemari lingkungan dan dapat meningkatkan tingkat polusi di udara. Untuk menangani/ mengurangi dampak negatif dari sisa hasil pembakaran sampah yang tidak sempurna dapat dilakukan dengan cara menggunakan tempat pembakaran sampah yang menggunakan insinerator.

Insinerator merupakan alat pembakaran sampah yang digunakan untuk menekan polutan yang ditimbulkan dari sisa hasil pembakaran sampah, serta mengurangi terbentuknya gas beracun yang akan tersebar ke udara dari sisa hasil pembakaran sampah maupun limbah B3. Dalam proses pembakaran sampah di insinerator yang menjadi masalah ialah apabila insinerator tersebut tidak memiliki pengendalian udara yang baik. Proses pembakaran insinerasi ini bertujuan mengurangi limbah padat hasil pembakaran dengan cara dinetralisasi serta disolidifikasi dalam bentuk abu. Alat insinerator ramah lingkungan yang terdapat di bengkel otomotif universitas negeri jakarta masih kurang efektif. Dikarenakan tingkat CO₂ dan kadar abu partikulat pada hasil pembakaran akhir masih tinggi, sehingga belum dapat dikatakan ramah lingkungan. Penyebab kurang efektifnya insinerator tersebut adalah pada tangki pembilasan yang dilengkapi dengan water scrubber. Selain belum terdapat sistem *recycle fluida*, proses pembilasan yang dilakukan belum efektif karena menggunakan media air sebagai media penyerapan sisa hasil pembakaran. Berdasarkan masalah tersebut, saya bertujuan untuk melakukan pengukuran **‘PENGARUH PENGGUNAAN AIR LAUT**

DAN UKURAN DROPLET TERHADAP EFEKTIFITAS KADAR PARTIKULAT GAS BUANG PADA INSINERATOR SAMPAH'.

1.2 Identifikasi masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, penulis mengidentifikasi masalah yang terjadi, sebagai berikut:

- Semakin meningkatnya kadar polusi di lingkungan masyarakat, menipisnya lapisan ozon dan terjadinya pemanasan global.
- Rendahnya kesadaran masyarakat mengenai cara mengurangi pencemaran lingkungan dan mengelola sampah.
- Kurangnya pengetahuan masyarakat mengenai bahaya mengelola limbah sampah secara langsung (terbuka).

1.3 Pembatasan masalah

- Penelitian ini hanya membahas bagian tangki pembilasan pada alat pembakaran sampah ramah lingkungan tersebut (insinerator).
- Peneliti menganalisa proses pembilasan *water scrubber* yang terjadi pada tangki pembilasan insinerator yang menggunakan air laut (NaCl).
- Peneliti membahas nilai kadar opasitas dan CO₂ gas buang pada tangki pembilasan insinerator sampah ramah lingkungan.
- Peneliti membahas efektifitas penggunaan air laut (NaCl) terhadap nilai kadar opasitas dan CO₂ pada gas buang.

1.4 Perumusan masalah

Berdasarkan latar belakang, identifikasi dan batasan masalah yang ada di atas, maka permasalahan yang akan dicari penyelesaiannya dan dapat dirangkum seperti berikut;

“Bagaimanakah pengaruh penggunaan air laut dan ukuran droplet terhadap efektifitas kadar partikulat gas buang pada insenerator universitas negeri jakarta”.

1.5 Tujuan penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Apakah metode pembilasan dengan sistem *water scrubber* dengan fluida air laut dapat menurunkan kadar partikulat gas buang pada insinerator?.
- Berapakah penurunan kadar opasitas yang efektif setelah melalui proses pembilasan pada insinerator?.
- Berapakah penurunan kadar CO₂ yang efektif setelah melalui proses pembilasan pada insinerator?.
- Bagaimana perbedaan efektifitas pada hasil pembilasan yang menggunakan sistem *water scrubber* dengan variasi ukuran *droplet*?.
- Bagaimana perbedaan pada hasil pembilasan dengan menggunakan media air laut (NaCl) dan air (H₂O)?.

1.6 Manfaat penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi bagi masyarakat umum tentang proses pembakaran sampah yang efektif serta ramah terhadap lingkungan sehingga lingkungan sekitar dapat tetap terjaga dari polutan dan sisa hasil pembakaran yang berbahaya yang ditimbulkan dari sisa hasil pembakaran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Insinerator

Insinerator adalah suatu alat pembakar sampah yang di operasikan dengan menggunakan teknologi pemhakaran pada suhu tertentu, sehingga sampah dapat terbakar habis. Kebutuhan udara sekunder pada Proses pembakaran di incinerator dengan laju massa sampah 608J2 kg / jam adalah 1M2,47 kg/Jam dengan exces air 3 % maka didapat penghematan minyak tanah sebesar7 liter/jam. Incinerator merupakan peralatan pemusnah sampah khusus yang bekerja pada suhu yang tinggi, sehingga dapat menghancurkan sampah – sampah berbahaya dan beracun ataupun sampah – sampah infeksi, sehingga sisanya dapat dibuang dengan aman ke tempat pembuangan sampah umum. Incenerator ini memiliki ruang pembakaran, tempat sampah yang akan dibakar. Pada chamber terdapat saluran untuk mengalirkan bahan bakar juga dilengkapi saluran untuk mengalirkan udara dari blower, yang diperlukan pada proses pembakaran, pembakaran ini dilakukan pada chamber tertutup, untuk menghindari bahaya toksin maupun infeksi dari sampah yang akan dimusnahkan. Proses pembakaran ini memerlukan waktu yang bervariasi, tergantung jenis sampahnya serta volume sampah yang akan dimusnahkan. Pada incinerator, biasanya memiliki dua buah ruang pembakaran untuk membakar obyek dan membakar asap sebelum difilter, sehingga sisa – sisa karbon dari pembakaran yang terbawa asap akan semakin berkurang, sehingga gas CO yang dihasilkan juga semakin berkurang, dan tidak membahayakan bagi lingkungan.

2.2 Klasifikasi Insinerator

Insinerator dapat diklasifikasikan berdasarkan kapasitas, laju bakar, dan proses pembakarannya.

Tabel.2.1 Klasifikasi insinerator¹

Klasifikasi Insinerator Berdasarkan Kapasitas, Laju Bakar, dan Proses pembakaran				
Tipe Insinerator	Tipe sampah yang cocok untuk di Insinerasi	Kapasitas (m ³)	Laju Bakar (Kg/Jam)	Proses pembakaran
I	2	< 0,14	11.33	Curah
I - A	0,1&2	0,14 - 0,42	11,33 - 45,3	Curah
II	2	< 0,56	11,33- 45,3	Curah
II - A	1&2	< 0,196	> 45,3	Curah
III	0,1&2	0,196 - 0,28	> 45,3	Curah
IV	3	0,28 - 0,336	> 45,3	Curah
V	3	0,336 - 0,56	> 45,3	Sinambung
VI	4	0,56 - 0,98	> 45,3	Curah
VII	0	> 0,98	> 45,3	Curah /Sinambung

2.3 Prinsip proses insinerator

Prinsip proses insinerator merupakan suatu proses kimia yang akan menghasilkan panas dan cahaya, serta berbagai oksida senyawa kimia karena persenyawaan dengan oksigen. Proses ini merupakan proses pembakaran material padatan, cairan, ataupun gas untuk menjadi gas lain serta menghasilkan residu yang mengandung lebih sedikit material yang mudah terbakar. Reduksi volume biasanya mencapai 80 - 95%, sedangkan reduksi massa bisa mencapai 70 – 80%, yang juga tergantung dari kualitas pembakaran yang terjadi². Insinerasi merupakan suatu proses pembakaran. Dimana residu tersebut ialah:

¹ Bruner,C.R. *handbook of incineration system*.(Newyork:McGraw-Hill,Inc.1993).H.143.

² Tchobanoglous, george. *Intergrated solid waste management:engineering principles and management issue*.(Michigan:McGraw-Hill,Inc.1993).H.110.

- Residu Gas, merupakan gas hasil pembakaran yang dilepaskan lewat cerobong insinerator yang berupa pertikulat, sulfur dioksida, nitrogen dioksida, karbon monoksida, asam klorida, furan dan PAH (*Polynuclear Aromatic Hydrocarbon*)
- Residu cair, merupakan pengendalian pencemaran udara yang memanfaatkan efek aerosol dengan menggunakan Fluida cair, misalnya penggunaan air pada water scrubber.
- Residu padat, pada umumnya berupa logam, gelas, dan abu. Logam besi unurnya tersisa sebanyak 10 – 25%, sedangkan logam yang lain seperti tembaga, seng, krom, tersisa sebanyak 1%.

2.4 Bagian pada insinerator

2.4.1 Ruang bakar dan ruang abu

Pada ruang bakar temperatur yang diharapkan adalah 800°C. Bentuk ruang bakar adalah ruang bakar persegi (*rectangular*), vertical sirkular, dan ruang bakar berputar (*rotary kiln*)³. Ukuran ruang bakar yang terlalu besar akan meningkatkan kebutuhan bunter akses air, sedang jika terlalu kecil akan menyebabkan terjadinya proses pembakaran yang tidak sempurna. Dasar perhitungan ruang bakar ialah dari besarnya volume sampah yang akan diinsinerasi pada proses tersebut. Ruang abu diletakkan dibawah ruang bakar yang merupakan lokasi untuk menampung abu sisa pembakaran dari ruang bakar. Sistem pengambilan abu umumnya menggunakan *conveyor belt* yang dioperasikan secara sinambung apabila insinerator berkerja secara sinambung, sedangkan untuk insinerator yang berkerja

³ Tchobanoglous, george. Op.Cit.H.630.

secara curah umumnya menggunakan pengumpul abu yang diletakan dibawah untuk nantinya diambil secara manual setelah insinerator selesai berkerja.

2.4.2 Unit pengendali gas buang

Pengendali gas buang ini memiliki fungsi lain yaitu sebagai penyaring zat - zat berbahaya yang terbawa oleh gas buang. Dengan menggunakan water scrubber diharapkan zat – zat itu tersaring dan tidak terbang secara sembarangan ke lingkungan. Pengendalian gas buang terdiri atas dua tahap, yaitu⁴ :

- Penurunan temperatur gas buang

Peralatan yang digunakan adalah mesin pengubah panas (*heat exchanger*).

- Pengendalian emisi gas buang

Pada umumnya,insinerator sampah menghasilkan gas buang berupa CO, CO₂, NO₂, SO₂ serta partikulat. Pengendalian partikulat umumnya dilakukan menggunakan teknologi Cyclone dan scrubber. Pengendalian SO₂ umumnya dengan menggunakan Ca(OH)₂ ataupun menggunakan *electrostatic precipitator*. Sedangkan pengendalian NO₂ umumnya menggunakan water scrubber dengan menggunakan Ca(OH)₂ ataupun *electrostatic precipitator*, pembakaran dengan udara berlebih atau dalam jumlah minimum, memerlukan modifikasi burner (*Low NO₂ burner*).⁵

Partikulat : gravity settling chamber, cyclone, water scrubber dan bag house filter.

CO dan CO₂ : modifikasi jumlah udara pembakaran

⁴ Nevers, DE. *air pollution control engineering*.(singapore:McGraw-Hill,Inc.1995).H.94.

⁵ Ibid.H.645.

NO₂ : electrostatic precipitator, water scrubber dan Low NO₂ burner.

SO₂ : electrostatic precipitator dan water scrubber.

2.4.3 Bagian cerobong

Semakin tinggi temperatur suatu gas, maka akan semakin kecil massa jenisnya. Berdasarkan hal itulah maka dapat dipastikan gas buang akan selalu bergerak keatas. Sedotan alam merupakan salah satu parameter yang memungkinkan gas buang akan keluar dari cerobong. Hal ini diakibatkan fungsi dari tinggi, diameter cerobong, serta kecepatan gas buang memasuki cerobong. Sedangkan untuk meningkatkan sedotan alam, seringkali dipasang Fan penarik. Jika cerobong cukup tinggi maka cukup mengandalkan sedotan alam, sedangkan jika terlalu rendah harus digunakan sedotan berupa fan penarik karena terjadinya pengenceran dengan udara dalam jumlah yang besar dan temperatur udara pengencer yang lebih tinggi⁶.

2.5 Karakteristik sampah

2.5.1 Komposisi Kimia

Sampah tidak dapat diklasifikasikan dalam satu ataupun banyak jenis yang dikenal dengan struktur kimia. Sering kali sifat kimia dari suatu sampah tidak diketahui. Sejumlah perhitungan dilibatkan pada pembakaran suatu material

⁶ Tonggok, Robinson. *Perancangan Insinerator berkapasitas 1m³/jam*.(Depok: Departemen Teknik Mesin Falkutas Teknik Universitas Indonesia.2005).H.45.

sampah, karena itu, dalam banyak kasus, perhitungan-perhitungan harus didasarkan pada sejumlah asumsi. Berikut ini asumsi – asumsi yang ada yaitu⁷ :

- Semua hidrogen yang ada berubah menjadi uap air, H_2O , jika tidak dengan cara lain dicatat dibawah ini.
- Semua klorida (atau florida) berubah menjadi Hidrogen Klorida, HCL (atau Hidrogen Florida, HF)
- Semua karbon berubah menjadi karbondioksida. CO_2
- Semua sulfur/belerang berubah menjadi Sulfurdioksida, SO_2
- Logam-logam alkali berubah menjadi Hidroksida-hidroksida. Natrium menjadi Natrium Hidroksida, $NaOH$
- Logam-logam nonalkali berubah menjadi Oksida-oksida : tembaga menjadi tembaga oksida, Fe_2O_3

Semua Nitrogen dari sampah , bahan bakar, atau udara akan membentuk suatu molekul daitomic, misalnya Nitrogen menjadi N_2 .

Tabel 2.2 *Manicipal solid waste*⁸

Analisis Unsur Komponen Sampah Rumah Tangga (manicipal solid waste)

Percent by mass (dry mass)						
Component	Carbon	Hydrogen	Oxygen	Nitrogen	Sulfur	Ash
Food wastes	45,5	6,4	37,6	2,6	0,4	5
Paper	43,5	6	44	0,3	0,2	6
Cardborad	44	5,9	44,6	0,3	0,2	5

⁷ Tchobanoglous, george. Op.Cit.H.293.

⁸ Peavy,S.H. *environmental engineering*.(Newyork:McCraw-Hill,Inc.1985).H.141.

Plastics	60	7,2	22,8	-	-	10
Textiles	55	6,6	31,2	4,6	0,15	2,5
Rubber	78	10	-	2	-	10
Leather	60	8	11,6	10	0,4	10
Garden Trimming	47,8	6	38	3,4	0,3	4,5
Wood	49,5	6	42,7	0,2	0,1	1,5
Misc. Organic	48,5	6,5	37,5	2,2	0,3	3
Dirt, asher, brick, etc	26,5	3	2	0,5	0,2	68

Tabel 2.3 Unsur sampah kering⁹

Komposisi Unsur Sampah Kering

Unsur	Kmol	Perbandingan
Karbon	8,06	374,26
Hidrogen	46,21	2146,96
Oksigen	272,04	12639,48
Nitrogen	0,31	14,62
Sulfur	0,02	1

⁹ Tonggok, Robinson. Op.Cit.H.55.

2.5.2 Kandungan Energi

Data kandungan energi dan residu dari sampah rumah tangga terdapat pada tabel berikut.

Tabel 2.4 Kandungan energi sampah¹⁰

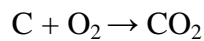
Kandungan Energi dari *Municipal Solid waste*

Inert Residue Percent			Energy, KJ/Kg	
Component	Range	Typical	Range	Typical
Food Wastes	2 – 8	5	3500 - 7000	4650
Paper	4 – 8	6	11600 - 18600	16750
Cardboard	3 – 6	5	13950 - 17450	16300
Plastics	6 – 20	10	20900 - 27900	32600
Textiles	2 – 4	2,5	15100 - 19800	17450
Rubber	8 – 20	10	20900 - 27900	23250
Leather	8 – 20	10	15100 - 19800	17450
Garden trimming	2 – 6	4,5	2300 - 18600	6500
Wood	0,6 – 2	1,5	17450 - 19800	18000
Misc. Organics	2 – 8	6	11000 - 26000	150
Glass	96 – 99	98	100 – 250	700
Tin Cans	96 – 99	98	250 - 1200	
Nonferrous metals	90 – 99	96		700
ferrous metals	94 – 99	98	250 - 1200	7000
Dirt, ashes, brick, etc	60 – 80	70	2303 - 11650	10500
Municipal solid wastes				9300 - 12800

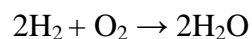
¹⁰ Peavy, S.H. Op.Cit.H.152.

2.6 Persamaan – persamaan Kesetimbangan

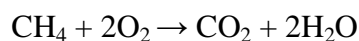
Persamaan kesetimbangan kimia terbentuk untuk menunjukkan kandungan unsur. Contoh : berat molekul disebelah kiri persamaan sebanding dengan berat molekul disebelah kanan, untuk karbon sebagai contoh :



Dari tabel sistem periodik unsur-unsur, berat atom dari karbon adalah 12,01 dan dari Oksigen 16,00. Untuk contoh sederhana ini sehingga berat CO_2 disebelah kiri adalah $12,01 + 2 \times 16,00 = 44,01$, dimana sebanding dengan berat CO_2 disebelah persamaan kanan. Pada sampah-sampah dan bahan bakar yang sering dijumpai, kandungan utama berisi karbon dan hidrogen. Untuk hidrogen:



Perhatikan bahwa Oksigen dan Hidrogen terdiri dari molekul Diatomic (O_2 dan H_2), seperti halnya N_2 persamaan kesetimbangan untuk metana, CH_4 adalah



Jumlah total molekul pada setiap unsur disebelah kiri sebanding dengan jumlah total molekul setiap unsur disebelah kanan.

2.7 Prinsip dasar *Wet Scrubber*

Sistem *scrubber* adalah kumpulan berbagai macam alat kendali polusi udara yang dapat digunakan untuk membuang partikel atau gas dari arus gas keluaran industri. Dahulu, *scrubber* berkaitan dengan peralatan kontrol polusi yang menggunakan *liquid* untuk ‘mencuci’ polutan yang tidak diinginkan dari arus gas. Saat ini, istilah *scrubber* juga digunakan untuk menggambarkan sistem

yang menyuntikan atau memasukan bahan aktif kering atau *liquid* kedalam gas kotor untuk mencuci gas asam. *Scrubber* adalah salah satu peralatan pokok yang mengontrol emisi gas. *Wet scrubber* adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan variasi alat yang menggunakan *liquid* untuk membuang polutan. Pada *wet scrubber*, arus gas kotor dibawa menuju kontak dengan *liquid* pencuci dengan cara menyembrotkan, mengalirkan atau dengan metode kontak lainnya, tergantung pada kondisi proses industri dan sifat alami polutan udara yang bersangkutan. *Scrubber* dapat didesain untuk mengumpulkan polutan partikel atau gas. *Wet scrubber* membuang partikel dengan cara menangkapnya dalam tetesan atau butiran *liquid*, sedangkan untuk polutan gas proses *wet scrubber* adalah dengan melarutkan atau menyerap polutan kedalam *liquid*. Adapun *liquid* yang masih terdapat dalam arus gas pasca pencucian, selanjutnya harus dipisahkan dari gas bersih dengan alat yang lain disebut *mist eliminator* atau *entrainment separator*.

Kemampuan *wet scrubber* untuk mengumpulkan pertikulat berukuran kecil seringkali berhubungan langsung atau proposional dengan input power scrubber. Alat *low energy* seperti *spray tower* digunakan untuk mengumpulkan partikel lebih besar dari 5 micrometer. Untuk menghasilkan efesiensi tinggi dari pembuangan partikel 1 micrometer (atau kurang) umumnya membutuhkan alat *high energy* seperti venturi atau alat besar seperti *condensation scrubber*. *Wet scrubber* yang membuang polutan gas disebut absorber¹¹. Kontak gas dengan *liquid* yang baik sangat penting untuk menghasilkan efesiensi pembuangan yang tinggi pada absorber. Sejumlah desain *wet scrubber* digunakan untuk membuang

¹¹ Nevers, De.Op.Cit.H.212.

polutan gas dengan *packed tower* dan *plate tower* menjadi yang umum digunakan.

Berikut adalah beberapa keunggulan *wet scrubber*, yaitu¹² :

- *Wet scrubber* memiliki kemampuan untuk mengatasi temperatur dan kelembaban tinggi.
- Pada *wet scrubber*, *flue gas* didinginkan, menghasilkan kebutuhan ukuran peralatan yang lebih kecil secara keseluruhan.
- *Wet scrubber* dapat membuang baik polutan gas maupun partikel padat.
- *Wet scrubber* dapat menetralkan gas yang korosif.

2.7.1 Sistem *wet scrubber*

Wet scrubber system secara umum terdiri dari komponent-komponent berikut ini:

- *Ductwork* dan sistem *fan*
- *Saturation chamber*
- *Scrubbing vassel*
- *Mist eliminator*
- *Pumping* dan *system recyle*
- *Exhaust stack*

Wet scrubber sangat bervariasi baik dalam kompleksitas dan metode operasi, mengkategorikannya dalam kelompok yang benar-benar sesuai sangatlah sulit. *Scrubber* untuk pengumpulan partikel biasanya dikategorikan dengan gas *side pressure drop* dari sistem. Gas *side pressure drop* diartikan sebagai perbedaan tekanan, atau *pressure drop* yang terjadi akibat dari gas yang ditekan

¹² Nevers, De. *Loc. Cit.*

atau ditarik disepanjang *scrubber*, dengan mengabaikan tekanan yang digunakan untuk memompa atau menyemprot *liquid* kedalam *scrubber*. Klasifikasi *scrubber* berdasarkan *pressure drop* atau perbedaan tekanan adalah sebagai berikut¹³;

- *Low energy scrubber*

Dimana memiliki *pressure drop* kurang dari 12,7 cm (5 inc) kolom air.

- *Medium energy scrubber*

Dimana memiliki *pressure drop* antara 12,7 dan 38,1 cm (5 inc dan 15 inc) kolom air.

- *High energy scrubber*

Dimana memiliki *pressure drop* lebih besar dari 38,1 cm (15 inc) kolom air.

2.7.2 Prinsip operasi *wet scrubber*

Wet scrubber membuang polutan partikel dari arus gas dengan menangkap partikel tersebut dalam tetesan/ butiran *liquid* atau lapisan *scrubbing liquid* lalu memisahkan tetesan air tersebut dari arus gas¹⁴. Beberapa variabel proses mempengaruhi penangkapan partikel; variabel tersebut adalah ukuran partikel, ukuran droplet, dan kecepatan relatif partikel dengan droplet *liquid*. Dengan ukuran polutan menjadi parameter. Secara umum, partikel yang lebih besar lebih mudah untuk ditangkap daripada yang lebih kecil. Kunci dari penangkapan partikel yang efektif pada *wet scrubber* adalah dengan menciptakan kabut atau droplet kecil yang bertindak sebagai target pengumpul. Biasanya, makin kecil droplet dan makin banyak droplet yang tercipta untuk menangkap partikel berukuran kecil. Penangkapan partikel secara umum meningkat seiring dengan

¹³ *Ibid*, H.214

¹⁴ *Ibid*, H.248.

tingginya energi sistem yang digunakan, karena energi dibutuhkan untuk memproduksi kabut droplet air. Kecepatan relatif yang tinggi antara partikel dan droplet *liquid* (partikel bergerak cepat terhadap droplet *liquid*) juga mendukung pengumpulan partikel. Untuk pengumpulan atau pembuangan polutan gas, polutan tersebut harus mudah terlarut dalam *liquid* yang dipilih. Pertimbangan lain yang cukup penting untuk kedua jenis polutan adalah jumlah *liquid* yang digunakan atau diinjeksikan kedalam *scrubber* per volume gas yang dihasilkan (disebut juga sebagai *liquid to gas ratio*) dan pembuangan tetesan air yang terbawa dalam gas *liquid to gas ratio* sangat penting untuk menjamin jumlah *liquid* agar cukup untuk pembuangan polutan yang efektif.

2.8 Parameter desain *wet scrubber*

Performa suatu jenis *scrubber* tertentu sangat tergantung pada distribusi ukuran partikel pengotor dalam arus gas produser. Distribusi ukuran menentukan mekanisme penangkapan yang mendominasi seperti; *impaction*, *interception*, atau *diffusion*¹⁵. Kebanyakan desain *wet scrubber* mengandalkan hampir secara keseluruhan pada inertial *impaction* untuk mengumpulkan partikel-partikel berukuran lebih kecil dari 0,1 μm paling banyak tertangkap melalui mekanisme difusi. Parameter yang mempengaruhi performa *wet scrubber* secara keseluruhan adalah:

- *Waste gas flow rate, temperature and humidity*
- Kecepatan gas dan *pressure drop*
- *Liquid to gas (L/G) ratio*
- *Residence time*
- *Droplet size*, dan persamaan *pressure drop*

¹⁵ Munson, Bruce R. *Mekanika fluida edisi keempat jilid II.*(Jakarta:Erlangga.2003).H.98.

2.8.1 *Water gas flow rate, temperature, and humidity*

Laju aliran arus gas produser adalah parameter untuk pengukuran dimensi yang paling tinggi pada *wet scrubber*. Makin tinggi laju aliran gas, makin besar sistem venturi dan volume *scrubbing liquid* yang dibutuhkan untuk mencuci gas. *Wet scrubber* beroperasi pada laju alir gas lebih kecil daripada *baghouse* atau EPSP karena injeksi *liquid*. Temperatur gas produser dan humalitas juga berpengaruh pada desain venturi. Ketika udara melewati *wet scrubber*, air menguap dan humaditas juga meningkat dan mendinginkan arus gas. Jumlah penguapan ditentukan oleh *inlet* dan humaditas. Laju penguapan yang tinggi akan meningkatkan konsumsi air yang dibutuhkan atau *liquid to gas ratio*. *Inlek* aplikasi pembuangan partikel *wet scrubber* secara umum terbatas pada *range* 50°F – 100°F karena penguapan.

2.8.2 *Kecepatan gas dan pressure drop*

Meningkatkan kecepatan relatif antara gas dan *droplet liquid* meningkatkan momentum partikel. Menyebabkan partikel lebih kecil untuk terkumpul oleh mekanisme *impaction*. Kecepatan relatif dapat ditingkatkan dengan cara mempersempit *throat*, menginjeksikan *liquid* ke *throat*. Namun meningkatkan kecepatan relatif biasanya meningkatkan *pressure drop*, kebutuhan energi, dan biaya operasi *scrubber*.

2.8.3 *Liquid to Gas ratio (L/G)*

Liquid to Gas ratio (L/G) adalah volume *liquid* yang diinjeksikan per volume *efficiency*, karena density *droplet* disepanjang area permukaan tertentu pada *scrubber* lebih tinggi. Laju aliran *liquid* antara 7 sampai 10 gal/1000 f_t³

memberikan performa maksimal. L/G *ratio* akan meningkatkan *collection efficiency* sampai batas waktu tertentu¹⁶. Hal ini akan meningkatkan biaya operasi karena penggunaan *scrubbing liquid* yang besar dan penggunaan pompa.

2.8.4 *Droplet Size*

Terdapat ukuran optimum untuk memaksimalkan pengumpulan partikel. *Droplet* lebih kecil memiliki permukaan lebih besar terhadap rasio volume, maka akan menangkap partikel lebih banyak per volume yang diinjeksikan. Bagaimanapun juga jika ukuran *droplet* terlalu kecil, momentum dari arus gas dapat berpindah *droplet* yang akan menurunkan kecepatan relatif rendah sehingga menghasilkan *collection efficiency* yang rendah juga.

2.9 Metode penyerapan partikel

Wet scrubber menangkap partikel debu yang kecil terhadap butiran liquid yang besar dikebanyakan *wet scrubber*, *droplet* yang dihasilkan besarnya adalah lebih dari 50 micrometer (dalam *range* 150-500 micrometer). Sebagai tolak ukur, ukuran diameter rambut manusia berkisar antara 50 – 100 micrometer. Distribusi ukuran partikel yang akan dibuang dalam sistem tergantung sumber. Contohnya, partikel yang dihasilkan dari padatan mekanik (*crush* atau *grind*) cenderung besar (diatas 10 micrometer), sedangkan partikel yang berasal dari *combustion* (reaksi kimia) akan menghasilkan partikel yang kecil (kurang dari 5 micrometer) atau berukuran submicrometer. Ukuran partikel yang paling kecil

¹⁶ Nevers, DE. Op.Cit.H.198.

adalah antara 0.1 sampai 0.5 micrometer, karena partikel dengan ukuran tersebut adalah yang paling sulit dikumpulkan atau dibuang oleh *wet scrubber*¹⁷.

2.10 Dinamika Fluida

Salah satu cara untuk menjelaskan gerak suatu fluida adalah dengan membagi-bagi fluida tersebut menjadi elemen-elemen volume yang sangat kecil, yang dapat dinamakan partikel – partikel fluida. Berikut karakteristik umum dari aliran fluida¹⁸:

- Aliran tunak dan tak tunak

Bila kecepatan fluida di setiap titik yang diberikan adalah konstan di dalam waktu, maka gerak fluida tersebut dikatakan aliran tunak. Sedangkan kecepatan fluida yang melalui setiap titik berbeda tetapi berperilaku persis sama pada setiap titik yang dilalui, maka gerak fluida tersebut dikatakan aliran tak tunak.

- Aliran berolak dan tak berolak

Jika elemen-elemen fluida di setiap titik tidak mempunyai kecepatan sudut maka gerak aliran fluida tersebut dikatakan aliran tak berolak. Tetapi jika elemen – elemen fluida mempunyai kecepatan sudut pada setiap titik yang dilalui maka gerak fluida tersebut dikatakan aliran fluida berolak.

- Aliran termampatkan dan tak termampatkan

Cairan yang tidak memiliki kekentalan (viscous) akan bergerak dengan aliran tak termampatkan. Sedangkan fluida yang melalui setiap titik dan

¹⁷ Khairumizan, Panji. *Studi eksperimental implementasi venturi scrubber pada sistem gasifikasi batu bara*. (Depok: Departemen Kementerian Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. 2008). H. 17.

¹⁸ Wiley, John. *PHYSICS 3rd Edition*. (Jakarta: Erlangga. 1998). H. 597

berpengaruh terhadap gaya gesek, waktu dan mengalami dapat mengalami perubahan massa jenis, maka gerak fluida tersebut disebut aliran fluida termampatkan.

2.10.1 Persamaan kontinuitas

Aliran fluida yang bermula memiliki kecepatan (v) pada suatu titik dengan luas penampang (A) maka akan memiliki besar masa fluida yang sama pada titik lain yang memiliki luas penampang berbeda (A'). Maka dapat di tentukan persamaan¹⁹ :

$$\text{Fluks massa} = \rho \cdot v \cdot A = \text{konstan} \quad \dots (2.3)$$

Pada aliran fluida tak termampatkan maka akan berlaku persamaan²⁰ :

$$\text{Massa fluida} = A \cdot v = \text{konstan} \quad \dots (2.4)$$

Artinya besar massa fluida (debit) pada setiap titik yang dilalui akan selalu sama atau konstan walaupun memiliki luas penampang yang berbeda, hal ini juga dapat berpengaruh pada kecepatan aliran fluida. Dimana tekanan akan berbanding lurus dengan luas penampangnya tetapi berbanding terbalik dengan kecepatan aliran fluida.

2.10.2 Persamaan Bernouli

Persamaan Bernoulli adalah sebuah hubungan fundamental didalam mekanika fluida, karena persamaan Bernoulli tersebut pada pokoknya adalah sebuah pernyataan teorema kerja – tenaga untuk aliran fluida. Teorema usaha –

¹⁹ *Ibid.* H.582

²⁰ *Ibid.* H.583

tenaga menyatakan kerja yang dilakukan gaya resultan yang beraksi dalam pada sebuah sistem adalah sama dengan perubahan energi kinetik²¹.

$$W = P.V + \rho.g.h \quad \dots (2.5)$$

Dimana $W = \Delta EK$, sedangkan $EK = \frac{1}{2} \rho.v^2$. Maka dapat disederhanakan persamaan tersebut menjadi²² :

$$P + \rho.g.h + \frac{1}{2} \rho.v^2 = \text{Konstan} \quad \dots (2.6)$$

Dimana ;

W : usaha kerja

P : tekanan

V : volume

ρ : massa jenis

h : ketinggian

v : kecepatan

2.11 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen laboratorium. Penulis melakukan pengujian pada tangki pembuangan insinerator dengan penurunan kadar abu dan partikulat yang efektif pada gas buang pembakaran insinerator di bengkel otomotif dengan media air laut (NaCl). Studi literatur dari jurnal – jurnal yang telah ada. Kemudian menentukan rancangan dan piranti yang akan diterapkan pada tangki pembuangan insinerator. Pada dasarnya, peneliti akan

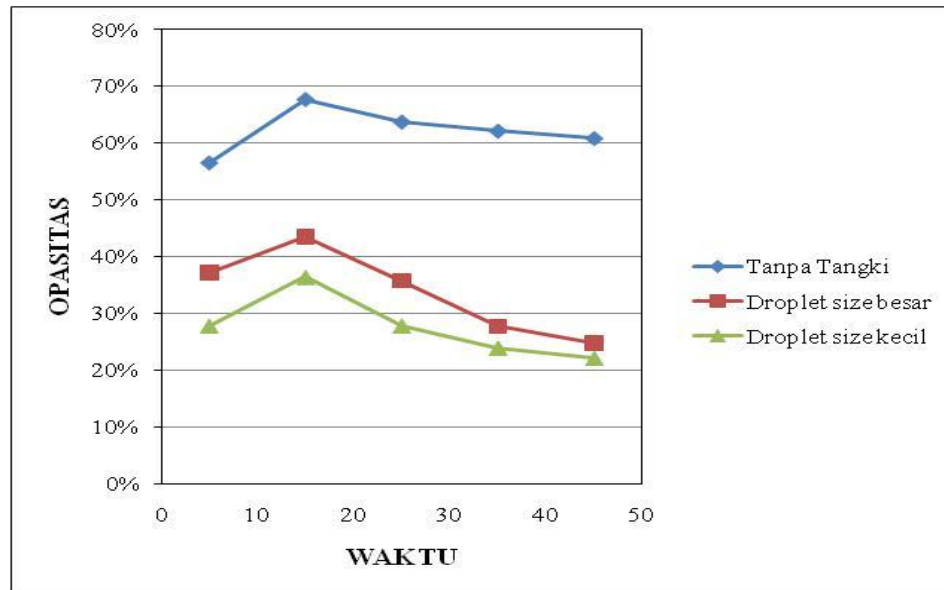
²¹ *Ibid.* H.586

²² *Ibid.* H.587

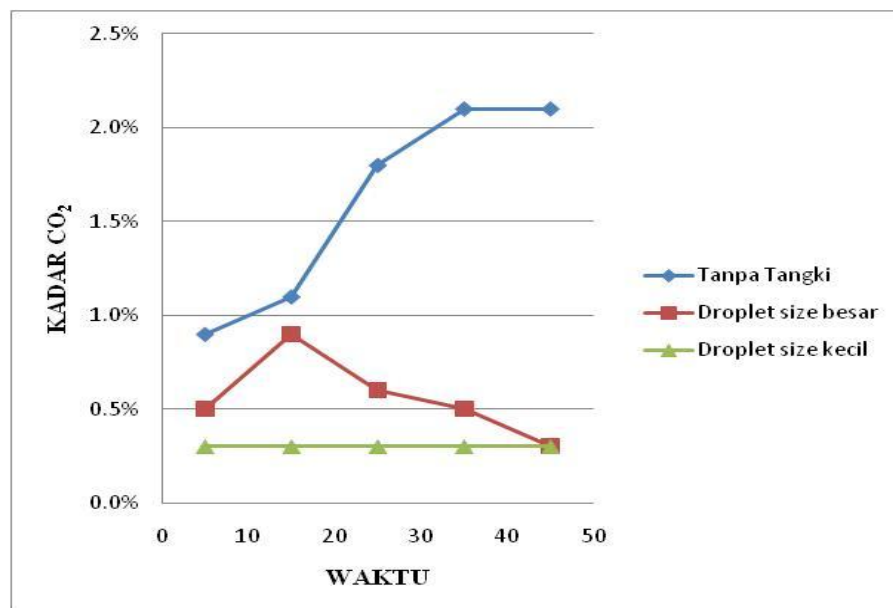
meneliti proses pembilasan yang tepat terhadap penurunan kadar abu dan partikular emisi gas buang dari insinerator.

2.12 Hasil Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian sebelumnya diketahui bahwa hasil penurunan kadar opasitas dan kadar CO_2 pada proses pengujian diketahui sebagai berikut :



Gambar 2.1. Diagram kadar opasitas gas buang



Gambar 2.2 Diagram Kadar CO_2 Gas Buang

Dari gambar diagram diatas dapat diketahui bahwa penurunan kadar opasitas dan kadar CO₂ yang terjadi di pengaruhi oleh ukuran *droplet size* yang digunakan dengan menggunakan media air (H₂O). Serta diketahui bahwa terjdai perubahan warna gas buang pada proses akhir penyaringan yang dapat diketahui melalui tabel berikut :

Tabel 2.5. Pengamatan Warna Asap

Perlakuan	Keterangan
Tanpa Pembilasan	 <p>Gas buang berwarna hitam pekat dan berbau sengat</p>
Pembilasan <i>Droplet size</i> Kecil	 <p>Gas buang berwarna putih, samar terlihat dan tidak berbau sengat</p>
Pembilasan <i>Droplet size</i> besar	 <p>Gas buang berwarna tidak hitam, samar terlihat dan tidak berbau sengat</p>

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat pelaksanaan penelitian dilaksanakan di laboratorium Gedung M Bengkel Otomotif Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta. Penelitian dilaksanakan pada bulan Oktober – Desember 2017.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan oleh penulis dalam membantu proses penelitian ini adalah sebagai berikut :

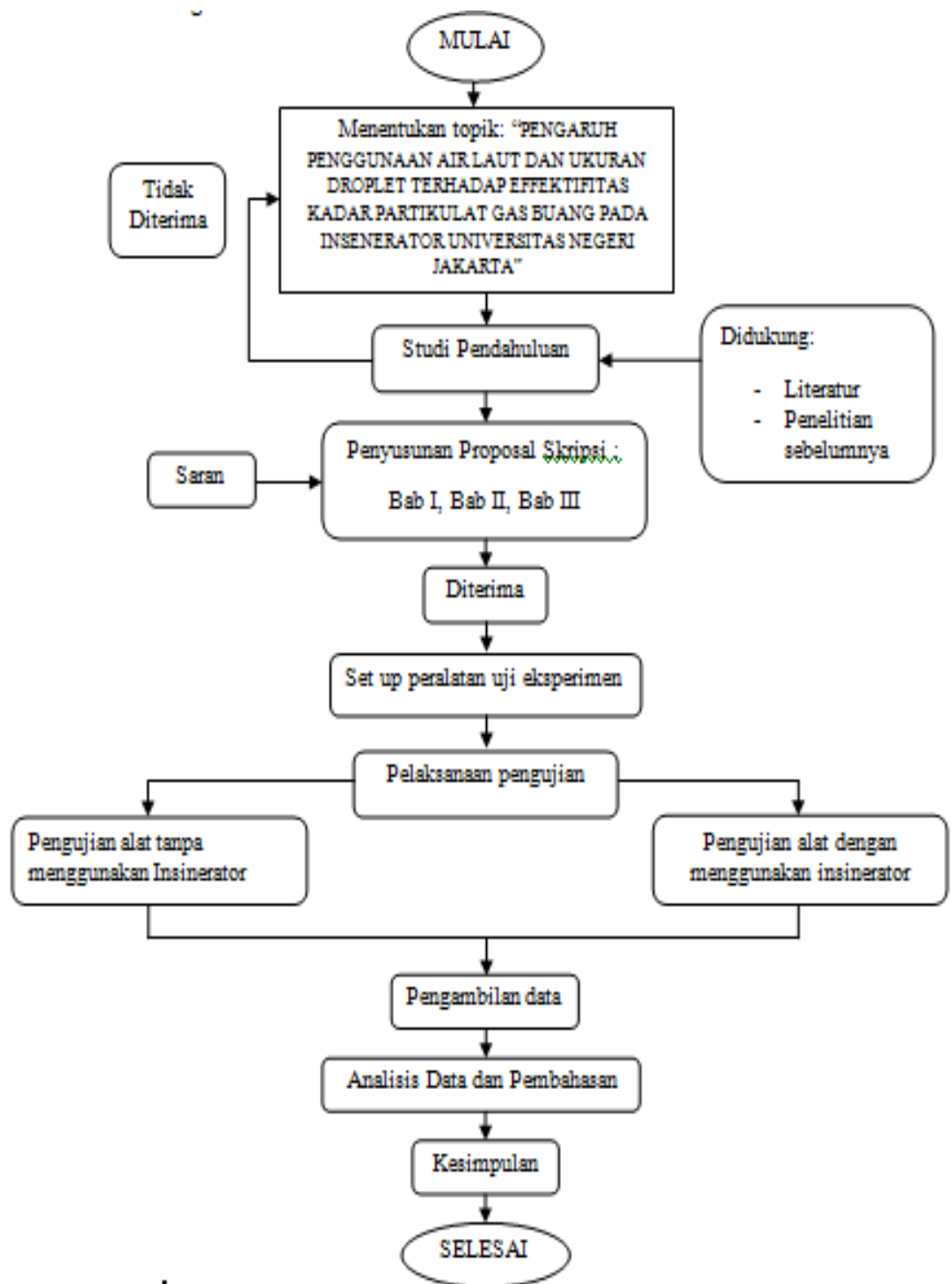
3.2.1 Alat

- 1) *Thermometer Infrared digital* digunakan untuk pengukuran suhu pada cerobong tungku dan cerobong tangki.
- 2) *Smokemeter* yang digunakan untuk mengukur opasitas gas buang pada cerobong tungku dan cerobong tangki.
- 3) *Exhaust analyzer untuk* mengetahui kadar CO, CO₂, O₂, dan HC (*hidrocarbon*) pada gas buang pembakaran.
- 4) Timbangan untuk mengukur massa sampah yang akan dibakar.
- 5) *Stopwatch* untuk mengukur waktu yang dibutuhkan.
- 6) Jangka sorong untuk mengukur dimensi *misting nozzle* pada *water scrubber*.
- 7) Filter Air untuk menyaring air yang akan menuju *misting nozzle*

3.2.2 Bahan

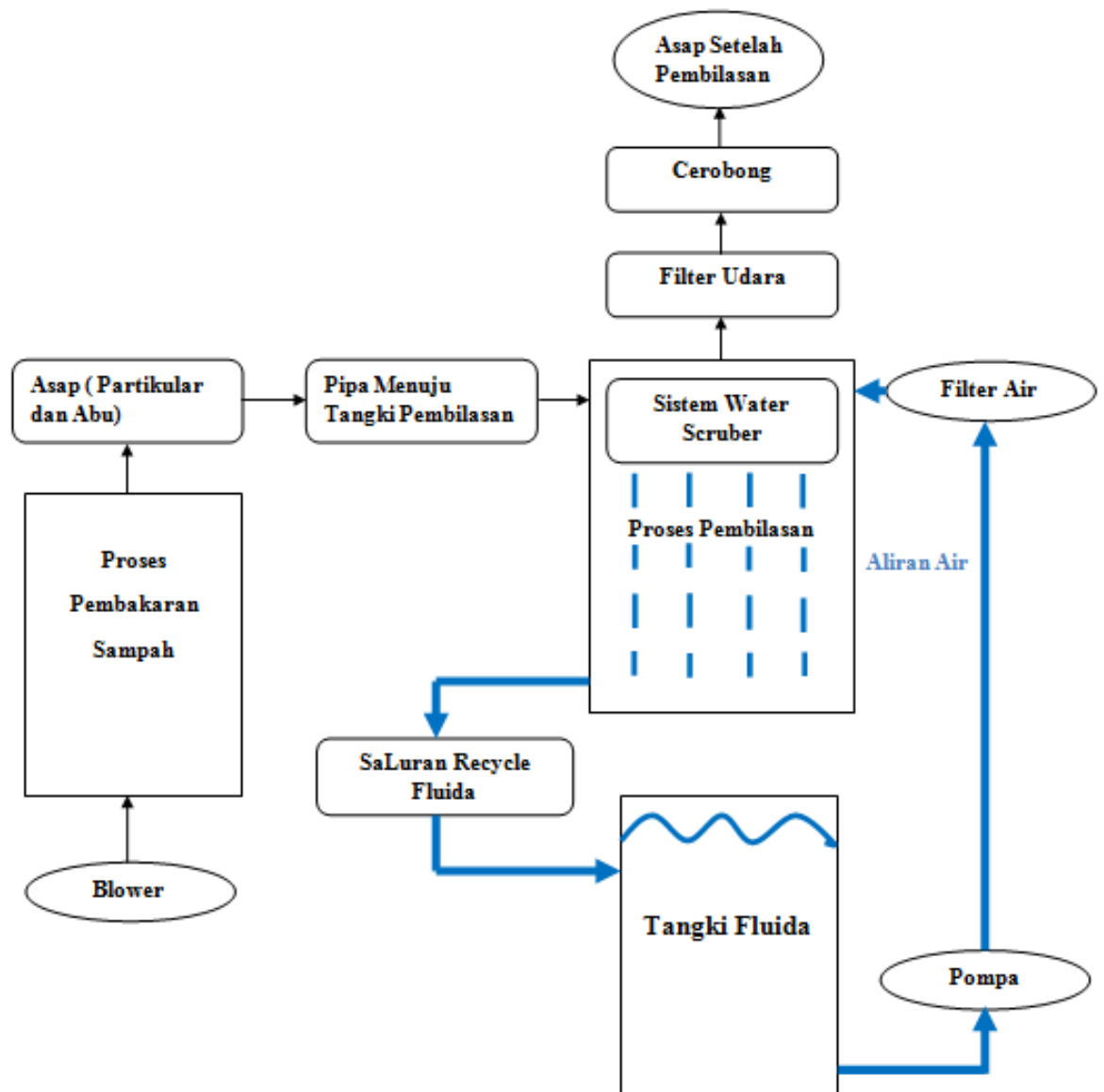
- 1) 2 drum polimer yang digunakan sebagai tangki pembilasan dan tangki *reclye fluida*.
- 2) Besi hollow 3x3 yang digunakan sebagai rangka dudukan tangki.
- 3) 4 buah *misting nozzle* yang digunakan sebagai pembilas pada sistem *water scrubber* dengan tipe *hollow cone nozzle*.
- 4) Blower yang digunakan sebagai pemberi udara pada tungku insinerator agar pembakaran yang terjadi dapat menghasilkan pembakaran yang sempurna.
- 5) Pompa air yang digunakan sebagai suplyer sumber air dalam proses pembilasan gas buang.
- 6) Tungku insinerator berkapasitas 1m^3 yang diigunakan sebagai tempat pembakaran sampah.
- 7) *Packing high temprature* sebagai seal penahan kebocoran pada tungku pembakaran.
- 8) Air laut (NaCl) sebagai fluida pembilasan asap
- 9) Sampah anorganik (kantong plastik, botol plastic, sterofom, kayu)
- 10) Pipa Pvc (palaron) sebagai saluran gas buang dari tungku.

3.3 Diagram Alur Penelitian



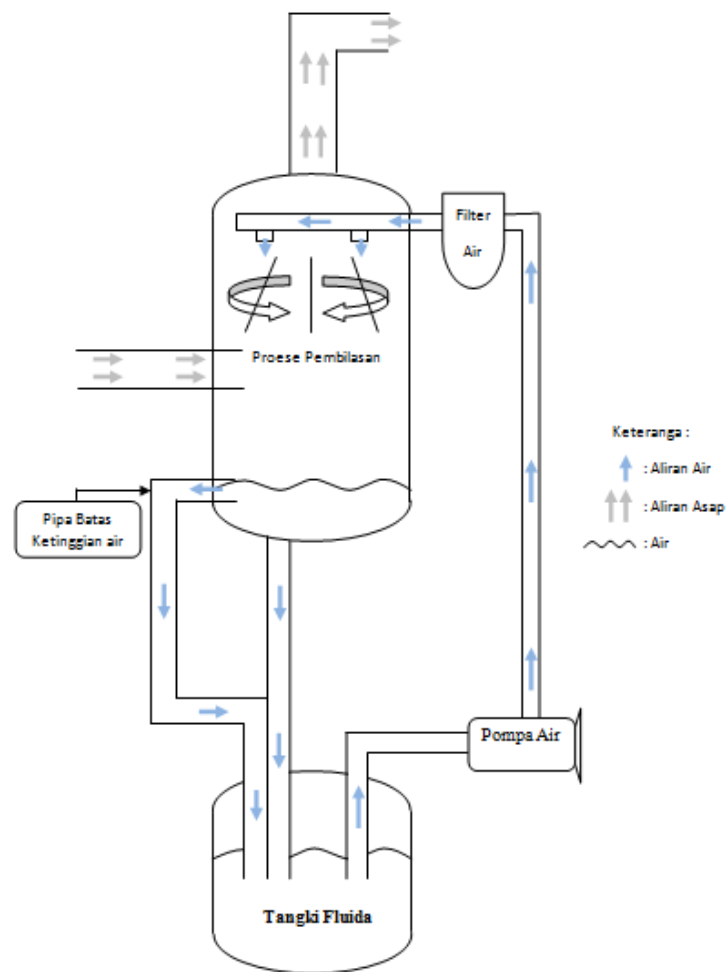
Gambar 3.1 Alur Diagram Penelitian

3.4 Skema Proses pada Insinerator



Gambar 3.2 Skema Proses Pada Insinerator

Gambar di atas merupakan siklus yang terjadi pada proses pembakaran sampah di insinerator.

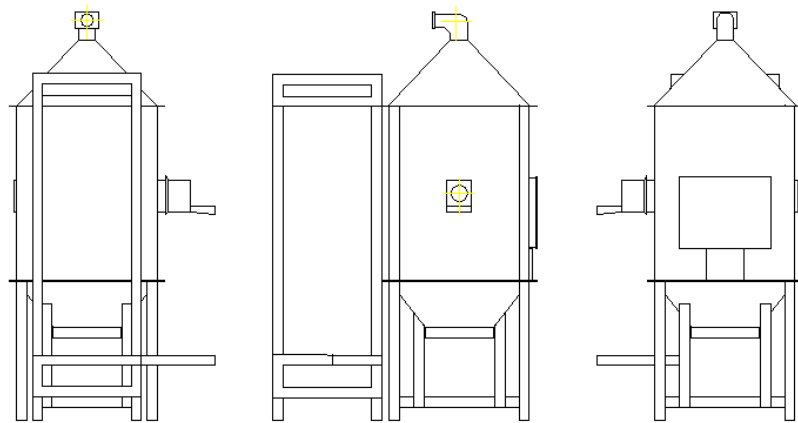


Gambar 3.3. Skema *Closed System* Pada Insinerator

Gambar di atas merupakan skema closed sistem pada insinerator, dimana dapat diketahui aliran fluida dan gas yang berkerja pada sistem tersebut. Adapun piranti yang diterapkan pada proses tersebut terdiri dari ;

3.4.1. Tungku insinerator

Tungku yang berbentuk persegi dengan volume 1m^3 merupakan tempat terjadinya proses pembakaran sampah. Pada tungku ini juga dilengkapi penampang abu yang terletak dibagian bawah tungku untuk menampung abu sisa pembakaran yang tidak ikut terbakar.



Gambar 3.4 Tungku incinerator (2 Dimensi)

3.4.2. Blower

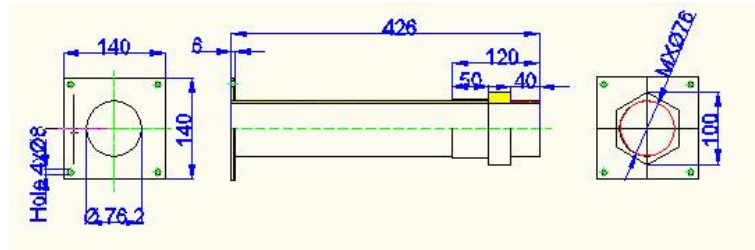
Blower terletak di bagian samping tungku, yang berfungsi sebagai penyedia udara ke dalam tungku agar tungku memiliki kadar udara yang cukup untuk melakukan proses pembakaran yang sempurna. Selain itu fungsi blower tersebut juga berfungsi untuk mendorong asap hasil pembakaran pada tungku agar keluar menuju cerobong asap.



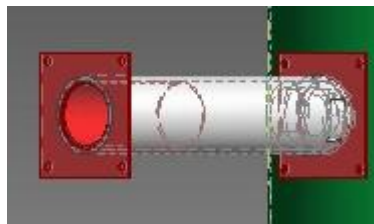
Gambar 3.5 Blower

3.4.3 Saluran Asap Tungku ke Tangki

Saluran ini dibuat dengan menggunakan plat besi berbentuk tabung sebagai pipa penghubung saluran asap ke tangki pembilasan pada insinerator.



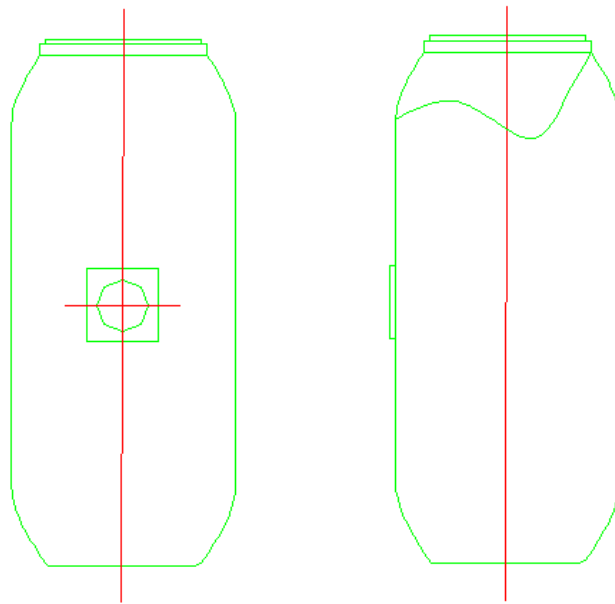
Gambar 3.6 Saluran asap tungku ke tangki (2 dimensi)



Gambar 3.7 Saluran asap tungku ke tangki (3 dimensi)

3.4.4. Tangki pembilasan

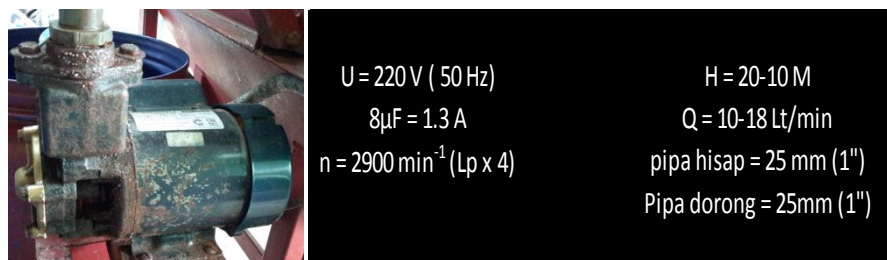
Tangki pembilasan yang digunakan adalah tangki berbahan polimer, tangki berdiameter 400mm dan tinggi 1000mm. Asap akan masuk kedalam tangki melalui saluran gas pada gambar 3.6 kemudian dibilas oleh *water scrubber* yang dipasang pada bagian atas dalam tangki.



Gambar 3.8 Rancang Tangki Tampak Depan dan Samping (2D)

3.4.5. Pompa air

Dalam proses pembilasan *water scrubber* menggunakan misting nozzle yang memerlukan tekanan yang cukup dan mengalirkan air dari tangki *recycle fluida* menuju sistem *water scrubber*.

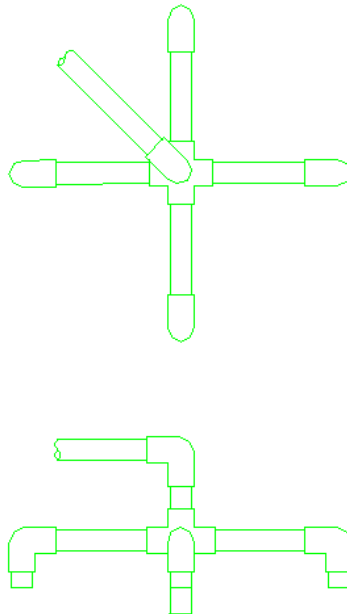


Gambar 3.9 Spesifikasi Pompa Air

3.4.6. Water Scrubber

Water scrubber merupakan sistem yang melepaskan partikel dengan dan menangkapnya dalam tetesan atau butiran *liquid*, sedangkan untuk polutan gas proses *water scrubber* adalah dengan melarutkan atau menyerap polutan kedalam

liquid. Secara umum, partikel yang lebih besar lebih mudah untuk ditangkap daripada yang lebih kecil. Kunci dari penangkapan partikel yang efektif pada *water scrubber* adalah dengan menciptakan kabut atau droplet kecil yang bertindak sebagai target pengumpul.



Gambar 3.10 Rancang Water Scrubber (2 D)

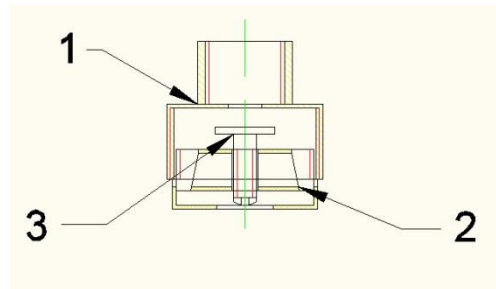


Gambar 3.11 Water Scrubber

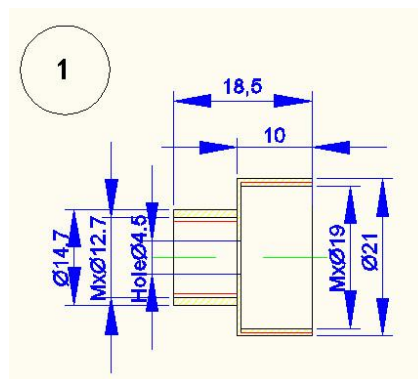
3.4.7 Misting Nozzle

Sprayer berjenis misting nozzle digunakan untuk mengaplikasikan dalam pengumpulan partikel abu dengan butiran air dalam sistem *water scrubber*. Fungsi

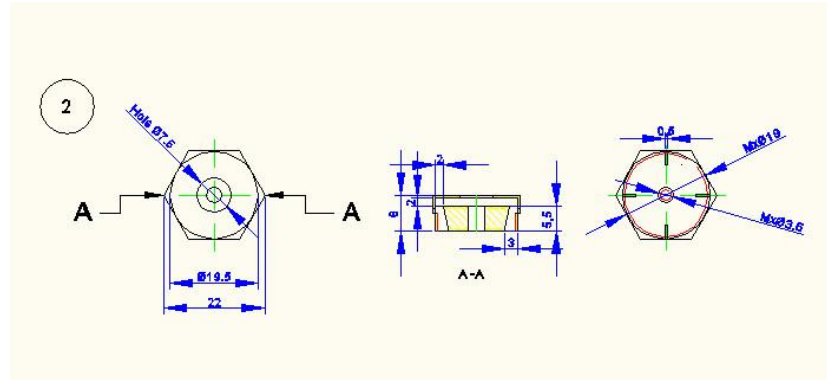
utama sprayer adalah untuk memecahkan cairan yang disemprotkan menjadi tetesan kecil (*droplet*) dan mendistribusikan secara merata pada objek (partikulat abu). Berdasarkan jenisnya, nozzle yang digunakan adalah *Hallow cone nozzle* dan *full cone nozzle*. Pada nozzle jenis ini Fluida mengalami Pemampatan sehingga penyebaran butiran cairan akan berbentuk lingkaran. Besar kecil ukuran *droplet size* (butiran air) ditentukan oleh tekanan pemampatan yang diberikan. Makin luas ruang pemampatan, makin besar ukuran *droplet size* (butiran air) tetapi lebih kecil diameter penyebaran butiran air. Keuntungan penggunaan nozzle jenis ini karena dapat diperoleh penyebaran butiran air yang seragam.



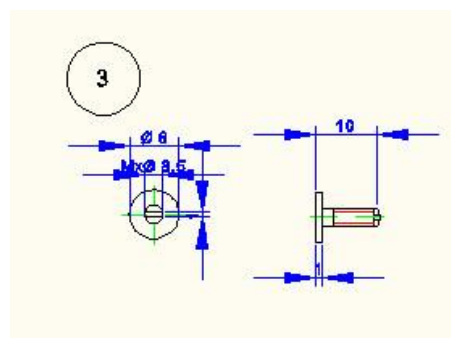
Gambar 3.12 Assembly Misting Nozzle (2 D)



Gambar 3.13 Bagian Pertama Pada Assembly Misting Nozzle



Gambar 3.14 Bagian Kedua Pada *Assembly Misting Nozzle*



Gambar 3.15 Bagian Ketiga Pada *Assembly Misting Nozzle*

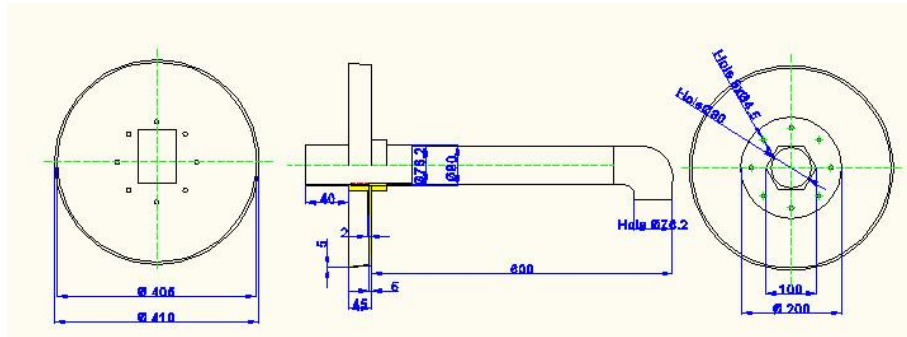


Gambar 3.16 Gambar *Misting Nozzle*

3.4.8. Cerobong Asap

Bagian cerobong asap merupakan bagian asap hasil pembilasan keluar menuju udara bebas. Semakin tinggi temperatur suatu gas, maka akan semakin kecil massa jenisnya. Berdasarkan hal itulah maka dapat dipastikan gas buang

akan selalu bergerak keatas. Bagian cerobong ini juga berfungsi sebagai tutup pada tangki pembilasan.



Gambar 3.17 Gambar Cerobong (2 D)



Gambar 3.18 Gambar Cerobong (3 D)

3.4.9. Filter Air

Filter air ini merupakan alat penyaring air yang digunakan untuk mengurangi kotoran yang terdapat pada air yang digunakan, dimana pada sistem water scrubber ini air yang digunakan akan bersirkulasi terus menerus dan akan menyerap partikulat abu pada proses penyaringan.



Gambar 3.19 Filter Air

3.4.10. Tangki *Recycle fluida*

Tangki *recycle fluida* merupakan wadah sirkulasi fluida yang digunakan pada *water scrubber*. Sebelum fluida cair dihisap oleh pompa untuk di alirkan menuju *water scrubber*, terlebih dahulu melalui proses filtering sehingga kotoran yang terdapat dari sisa hasil pembilasan tidak kembali pada *water scrubber*.

3.5 Parameter Pengujian

Dalam penelitian ini, ada beberapa hal yang dijadikan acuan sebagai parameter pengujian antara lain:

- a. Temperatur
- b. Kadar opasitas
- c. Kadar CO₂
- d. *Droplet size*
- e. *Pengunaan media air*

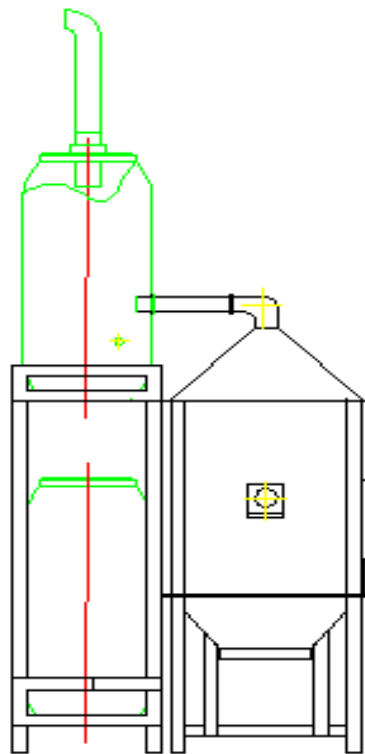
3.6 Perakitan

3.6.1 Pemasangan bagian-bagian pada tangki pembilasan

Dalam meningkatkan efektifitas penurunan kadar abu dan CO₂ gas buang, penyaluran gas buang dari tungku menuju tangki pembilasan dan proses

pembilasan yang terjadi juga harus efektif. Bagian-bagian yang dipasang pada tangki pembilasan terdiri dari:

- Saluran asap dari tungku menuju tangki
- Saluran buang *recycle* fluida pada tangki pembilasan
- Saluran masuk fluida *water scrubber* pada tangki
- Cerobong asap pada tangki
- Filter Air pada saluran masuk *water scrubber*
- Saluran buang akhir pada tangki
- Dudukan tangki pada insinerator

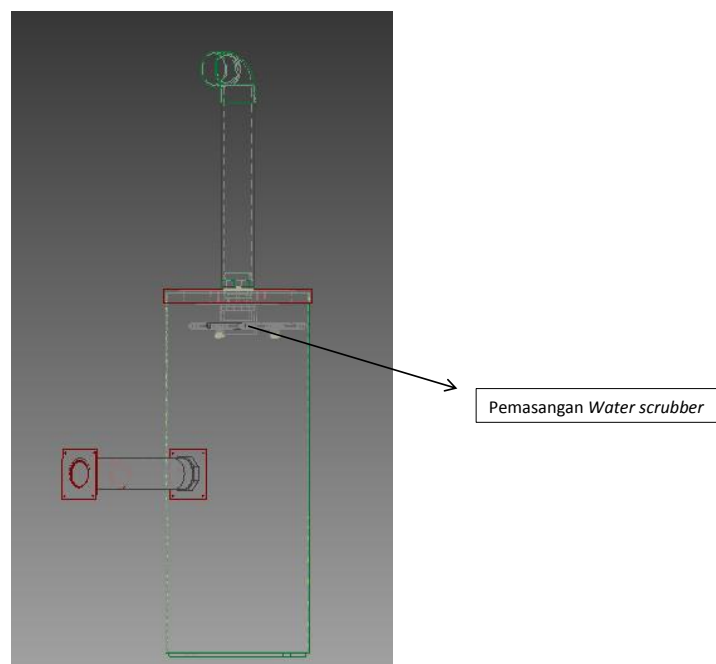


Gambar 3.20 Perakitan Tangki Pada Insinerator

3.6.2 Penempatan sistem water scrubber

Penempatan sistem *water scrubber* dipasang pada bagian dalam atas tangki agar dapat membilas gas buang sebelum keluar melalui cerobong tangki. Sistem

water scrubber dilengkapi dengan 5 buah *misting nozzle*. *Misting nozzle* yang digunakan berjenis *hollow cone* dan *full cone nozzle*. Penggunaan *hollow cone* dikarenakan memiliki *droplet size* air yang merata dan cakupan penyebaran butiran air juga luas, sehingga mampu membilas asap dalam volume yang besar saat berada didalam tangki, sedangkan penggunaan *full cone nozzle* digunakan sebagai pembilas sekaligus untuk membersihkan serat kain tempat terserapnya asap pembakaran.



Gambar 3.21 Pemasangan Water Scrubber

3.7 Cara Kerja sistem

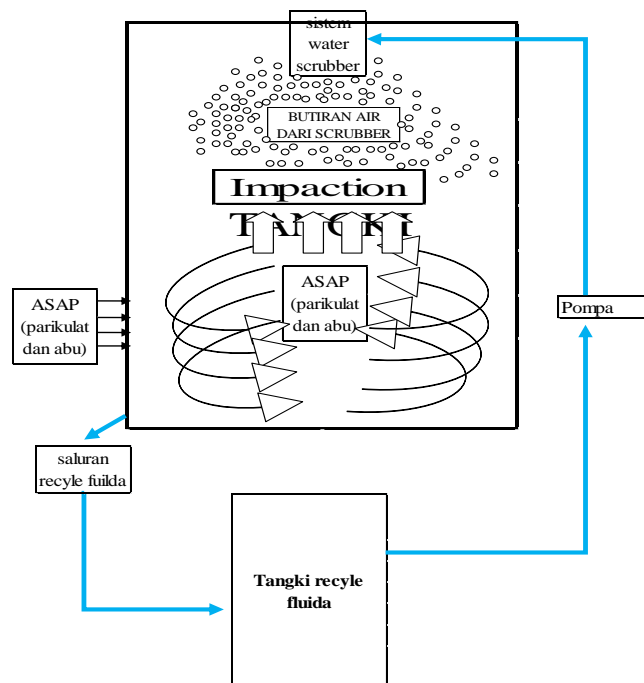
3.7.1 Proses pembilasan

Proses pembilasan terjadi bila sistem *water scrubber* telah aktif. Jika sistem *water scrubber* tidak aktif, maka asap akan masuk kedalam tangki dan keluar melalui cerobong tanpa mengalami pembilasan.

Sampah rumah tangga dengan massa 4Kg dibakar didalam tungku insinerator. Kemudian blower yang berfungsi memberikan udara yang cukup agar proses pembakaran sempurna dan mendorong gas buang agar bergerak keatas menuju cerobong tungku. Gas buang masuk kedalam saluran asap tungku menuju tangki. Kemudian di bilas dengan butiran air yang keluar dari *water scrubber* yang menyerap partikulat, CO₂ dan suhu pada gas buang.

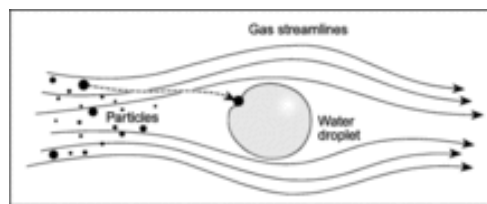
3.7.2 Sistem Water scrubber

Water scrubber menangkap partikel debu yang kecil relatif terhadap butiran liquid yang besar. Distribusi ukuran partikel yang akan dibuang dalam sistem tergantung dari sumber. Partikel yang berasal dari pembakaran atau reaksi kimia akan memiliki partikel yang kecil (kurang dari 5 micrometer) atau berukuran submikrometer.



Gambar 3.22. Proses Pembilasan *Water Scrubber*

Pada gambar diatas, bahwa gas buang memenuhi volume dalam tangki kemudian dibilas oleh butiran air yang keluar dari *mizting nozzle*. Pada pembilasan terjadi *impaction* antara abu dan partikel gas dengan *droplet* air. Ukuran butiran air yang lebih besar dari ukuran partikulat gas buang, sehingga partikulat terserap dan ikut bersama air.



Gambar 3.23. *Impaction* Butiran Air Terhadap Partikulat

Fluida yang digunakan adalah air laut (NaCl). Karena diketahui bahwa daya serap fluida ini dapat menyerap jauh lebih banyak jika dibandingkan dengan air biasa. Penggunaan sistem *water scrubber* dengan fluida air laut (NaCl) dikarenakan :

- Tidak memerlukan tempat yang luas
- Mengurangi temperatur dan volume gas kotor
- Tidak ada sumber pengotor kedua, partikel terkumpul dan tidak dapat keluar selama proses berjalan
- Mampu mengumpulkan pengotor gas maupun partikel padat jauh lebih baik dari fluida air biasa.

3.8 Analisis data

Setelah mengetahui cara kerja pada sistem water scrubber, maka penulis dapat menganalisis sistem *water scrubber* efektif dalam pembilasan gas buang apabila :

- a. Suhu gas buang yang keluar dari cerobong tangki lebih rendah dibandingkan suhu gas buang yang masuk menuju tangki. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terjadi penguapan cairan pada proses pembilasan oleh water scrubber.
- b. Efisiensi pengumpulan partikel yang dihasilkan besar. Kadar partikulat abu (opasitas) yang keluar dari cerobong tangki setelah mengalami pembilasan relatif kecil dan tidak berwarna hitam pekat.
- c. Kadar CO₂ yang keluar dari cerobong tangki setelah mengalami pembilasan relatif kecil dan tidak berbau sengat
- d. *Droplet size* atau diameter butiran air yang dihasilkan pada *misting nozzle* lebih besar dibandingkan diameter partikulat abu. Jangkauan penyebaran butiran air luas dan merata, sehingga volume abu yang diserap air lebih besar.
- e. Media air yang digunakan dapat berfungsi dengan baik dalam mengurangi kadar partikulat abu (opasitas) dan kadar CO₂.

A. Langkah persiapan

- Pengumpulan data dan studi literatur terkait tentang insinerator, polusi udara, kandungan unsur sampah, prinsip – prinsip konversi energi dan mekanika fluida.
- Perencanaan desain dan perangkat pada *water scrubber* pada tangki pembilasan pada alat pembakaran sampah.

B. Langkah penelitian

- Membangun rancangan sistem *water scrubber* dan *Recyle fluida* pada insinerator.
- Melakukan pengukuran kadar salinitas pada media air yang akan digunakan

C. Langkah eksperimen

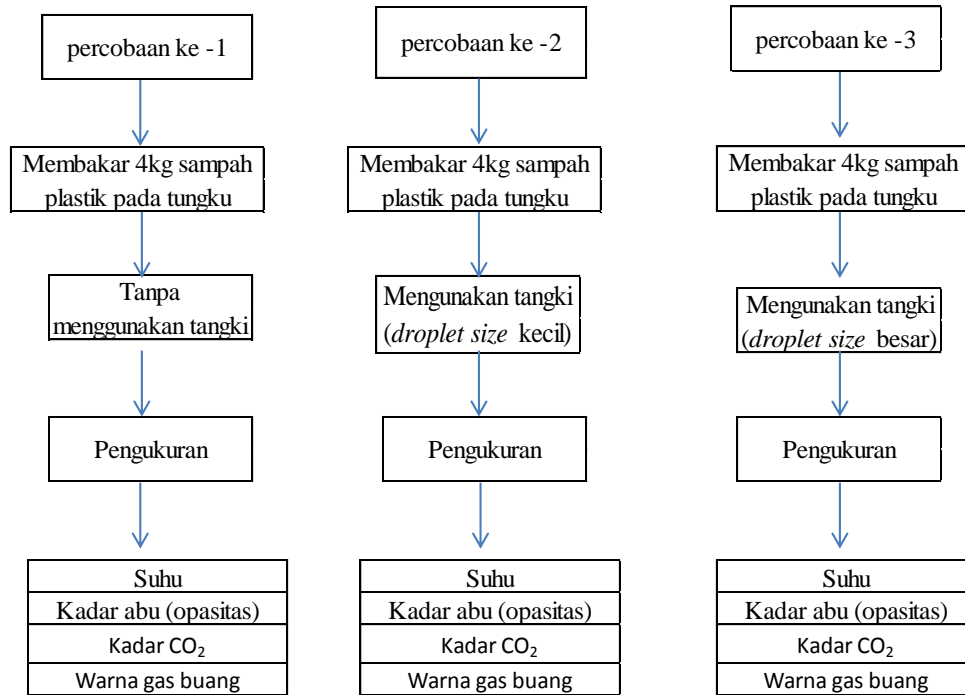
- Eksperimen pada alat pembakaran sampah tanpa menggunakan tangki pembuangan.
- Eksperimen pada alat pembakaran sampah dengan menggunakan tangki pembuangan yang dilengkapi sistem *water scrubber* dengan droplet size kecil.
- Eksperimen pada alat pembakaran sampah dengan menggunakan tangki pembuangan yang dilengkapi sistem *water scrubber* dengan droplet size besar.
- Eksperimen pada alat pembakaran sampah dengan menggunakan media air laut (NaCl).
- Eksperimen pada alat pembakaran sampah dengan menggunakan media air (H₂O)

D. Hasil penelitian

Menentukan efektifitas kadar partikulat gas buang sebelum dan setelah mengalami pembilasan pada tangki pembuangan yang dilengkapi dengan sistem *water scrubber droplet size* kecil serta *droplet size* besar. Menganalisis proses pembilasan yang terjadi dalam tangki pembuangan serta faktor-faktor yang berpengaruh terhadap efektifitas

kadar partikulat gas buang. Serta menentukan efektifitas penggunaan media air sebagai sistem *recycle fluida*.

3.9 Skema eksperimen



Gambar 3.24 Skema Eksperimen

a) Percobaan ke-1

- Mengumpulkan sampah dan menyortirkan sampah anorganik sebagai material yang akan dibakar pada ruang bakar insinerator.
- Melakukan pembakaran pada ruang bakar insinerator tanpa menggunakan tangki pembuangan.
- Melakukan pengukuran terhadap temperatur gas buang, kadar CO₂ gas buang yang keluar dari bagian penghantar gas buang dan kadar partikulat serta warna gas buang yang dihasilkan dari proses pembakaran tersebut.

b) Percobaan ke-2

- Mengumpulkan sampah dan menyotirkan sampah anorganik sebagai material yang akan dibakar pada ruang bakar insinerator (eksperimen kedua).
- Mempersiapkan dan memasang bangun tangki pembilasan yang dilengkapi sistem *water scrubber* dengan *droplet size* besar, serta sistem *recycle fluida* pada incinerator yang menggunakan media air laut (NaCl).
- Melakukan pembakaran sampah pada ruang bakar insinerator dengan menggunakan tangki pembuangan yang dilengkapi sistem *water scrubber* dengan *droplet size* besar dan *recycle fluida*.
- Melakukan pengukuran terhadap temperatur gas buang, kadar CO₂ gas buang yang keluar dari bagian penghantar gas buang dan kadar partikulat serta warna gas buang yang dihasilkan dari proses pembakaran tersebut.
- Melakukan perbandingan penggunaan media air pada saat pengukuran kadar CO₂ gas buang dan kadar partikulat serta warna gas buang yang dihasilkan dari proses pembakaran tersebut.

c) Percobaan ke-3

- Mengumpulkan sampah dan menyotirkan sampah anorganik sebagai material yang akan dibakar pada ruang bakar insinerator (eksperimen ketiga).

- Mempersiapkan dan memasang bangun tangki pembuangan yg dilengkapi sistem *water scrubber* dengan *droplet size* kecil, serta sistem *recycle fluida* pada insinerator.
- Melakukan pembakaran sampah pada ruang bakar insinerator dengan menggunakan tangki pembuangan yang dilengkapi sistem *water scrubber* dengan *droplet size* kecil dan *recycle fluida*.
- Melakukan pengukuran terhadap temperatur gas buang, kadar CO₂ gas buang yang keluar dari bagian penghantar gas buang dan kadar partikulat serta warna gas buang yang dihasilkan dari proses pembakaran tersebut.
- Melakukan perbandingan penggunaan media air pada saat pengukuran kadar CO₂ gas buang dan kadar partikulat serta warna gas buang yang dihasilkan dari proses pembakaran tersebut.

3.10. Karakteria pengujian alat

Pada pengujian alat tersebut pengujian yang akan dilakukan adalah untuk mengetahui kadar opasitas gas buang, suhu gas buang, kadar CO₂ gas buang, dan warna gas buang terhadap sistem *water scrubber* dengan *droplet size kecil* serta sistem *water scrubber* dengan *droplet size besar*, serta pengaruh penggunaan media air.

A. Kadar abu (opasitas) gas buang



Gambar.3.25 Smoke Meter

Pada pengujian opasitas, alat ukur yang digunakan adalah *smoke meter*. Langkah pertama yang dilakukan adalah dengan melakukan pengukuran massa sampah yang akan dibakar dalam tungku insinerator, selanjutnya melakukan kalibrasi terlebih dahulu terhadap alat *smoke meter* sebelum digunakan untuk melakukan proses pengukuran. Kemudian dilakukan pengukuran kadar abu terhadap gas buang insinerator tanpa menggunakan tangki yang dilengkapi dengan *water scrubber*, menggunakan tangki dengan ketentuan *droplet size* air kecil dan tangki dengan ketentuan *droplet size* air besar, serta pengaruh penggunaan media air.

Tabel 3.1. Pengukuran Opasitas Gas Buang

Waktu	Kadar Opasitas		
	Tanpa Tangki	Tangki (<i>Droplet size besar</i>)	Tangki (<i>Droplet size kecil</i>)
Menit ke-5			
Menit ke-15			
Menit ke-25			
Menit ke-35			
Menit ke-45			

B. Kadar CO₂



Gambar.3.26 Exhaust Analyzer

Pada pengujian kadar CO₂, alat ukur yang digunakan adalah *exhaust analyzer*. Langkah pertama yang dilakukan adalah dengan melakukan pengukuran massa sampah yang akan dibakar dalam tungku insinerator, selanjutnya melakukan kalibrasi terlebih dahulu terhadap alat *exhaust analyzer* sebelum digunakan untuk melakukan proses pengukuran. Kemudian dilakukan pengukuran kadar CO₂ terhadap gas buang insinerator tanpa menggunakan tangki yang dilengkapi dengan *water scrubber*, menggunakan tangki dengan ketentuan *droplet size* air kecil dan tangki dengan ketentuan *droplet size* air besar, serta pengaruh penggunaan media air.

Tabel 3.2. Pengukuran Kadar CO₂

Waktu	Kadar CO ₂		
	Tanpa Tangki	Tangki (<i>Droplet size besar</i>)	Tangki (<i>Droplet size kecil</i>)
Menit ke-5			
Menit ke-15			
Menit ke-25			
Menit ke-35			
Menit ke-45			

C. Suhu

Pada pengujian suhu, agar mengetahui efektifitas suhu gas buang yang keluar dari cerobong tangki pembilasan, seiring kelajuan bakar yang terjadi dalam tungku insinerator. Alat ukur yang digunakan adalah *thermometer* tipe digital dengan laser.

Tabel 3.3. Pengukuran Suhu

Waktu	Tanpa Tangki	Tangi (<i>Droplet size besar</i>)		Tangi (<i>Droplet size kecil</i>)	
		in	out	in	out
Menit ke-5					
Menit ke-15					
Menit ke-25					
Menit ke-35					
Menit ke-45					

D. Warna Gas Buang

Pada pengujian ini, penulis mengamati warna asap yang keluar dari cerobong setelah melalui variasi pengujian dengan tanpa menggunakan tangki pembilasan, menggunakan droplet size besar dan droplet size kecil.

Tabel 3.4. Pengamatan Warna Gas Buang

Perlakuan	Keterangan
Tanpa Pembilasan	
pembilasan droplet size kecil	
pembilasan droplet size besar	

Pada pengujian ini, penulis mengamati warna asap sisa hasil pembakaran yang keluar dari cerobong asap.

E. Media air

Pada pengujian menggunakan media air, yang dilakukan adalah dengan membandingkan hasil pengujian pada kadar opasitas dan kadar CO₂, dimana media yang digunakan adalah air laut (NaCl) dan air (H₂O).

Tabel 3.5. Perbandingan Kadar Opasitas

Waktu (menit)	Penggunaan Air Laut (NaCl)		Penggunaan Air (H ₂ O)	
	<i>Droplet size</i> besar	<i>Droplet size</i> kecil	<i>Droplet size</i> besar	<i>Droplet size</i> kecil
5				
15				
25				

35				
45				

Pada pengujian ini, penulis mengamati perbandingan kadar opasitas pada saat menggunakan media air laut dan air.

Tabel 3.6. Perbandingan Kadar CO₂

Waktu (menit)	Penggunaan Air Laut (NaCl)		Penggunaan Air (H ₂ O)	
	<i>Droplet size</i> besar	<i>Droplet size</i> kecil	<i>Droplet size</i> besar	<i>Droplet size</i> kecil
5				
15				
25				
35				
45				

Pada pengujian ini, penulis mengamati perbandingan kadar opasitas pada saat menggunakan media air laut dan air.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Dari penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan air laut sebagai media, diketahui bahwa pada insinerator yang menggunakan sistem *water scrubber* diharapkan dapat menurunkan kadar opasitas abu sisa hasil pembakaran, menurunkan kadar CO₂ dan suhu pada gas buang. Sistem penyerapan dengan sistem *water scrubber* dan menggunakan air laut sebagai media ini menggunakan 4 buah *misting nozzle* sebagai pereduksi asap sisa hasil pembakaran, keempat buah *nozzle* tersebut dipasangkan di bagian atas tangki pembilasan sebelum asap sisa hasil pembakaran keluar melalui cerobong asap, selain itu sistem *recycle fluida* yang digunakan untuk melakukan proses pembilasan secara terus menerus dilengkapi dengan filter air sebagai penyaring kotoran yang terbawa oleh air dari sisa hasil penyerapan, hal ini dilakukan agar tidak ada kotoran yang mengganggu kinerja *misting nozzle* dalam proses penyerapan.

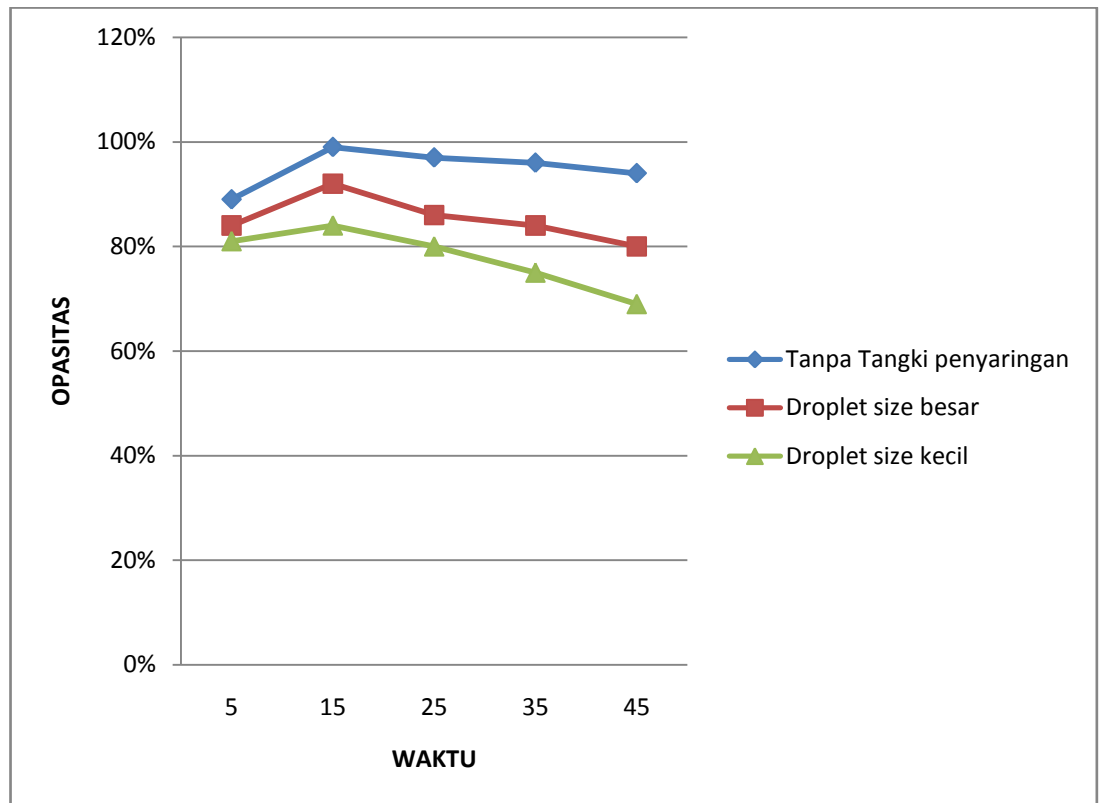
Pada penelitian ini pengujian dilakukan dengan cara memilah sampah terlebih dahulu, dimana sampah yang akan di uji merupakan sampah anorganik rumah tangga seperti kardus, botol bekas, plastik, sterofoam dan kayu. Total sampah yang akan di uji adalah 4kg dengan persentase kardus 25%, botol bekas 25%, plastik 15%, sterofoam 10% dan kayu 25%. Proses pembakaran dilakukan selama 45 menit dan dilakukan pengukuran pada menit ke-5, menit ke-15, menit ke-25, menit ke-35, dan menit ke-45. Dalam proses pengambilan data dilakukan 3 kali percobaan, dimana percobaan pertama melakukan proses pembakaran pada insinerator tanpa menggunakan tangki pembilasan. Percobaan kedua melakukan

proses pembakaran dilengkapi tangki pembilasan dengan *droplet size* butiran air *water scrubber* berukuran besar. Percobaan ketiga melakukan proses pembakaran dilengkapi tangki pembilasan dengan *droplet size* butiran air *water scrubber* berukuran kecil.

4.2 Analisis Data

4.2.1 Pengaruh *Droplet size* Terhadap Opasitas Gas Buang

Dari percobaan yang telah dilakukan diketahui bahwa pengaruh *droplet size* terhadap kadar opasitas pada gas buang sisa hasil pembakaran adalah sebagai berikut :



Gambar 4.1. Diagram Kadar Opasitas Gas Buang

Pada gambar 4.1 menunjukkan diagram kadar kepekatan asap (opasitas) yang dihasilkan oleh pembakaran sampah pada insinerator dalam satuan persen yang dilakukan selama 45 menit waktu pengujian. Pada percobaan pertama,

pembakaran sampah pada insinerator tanpa tangki pembilasan. Percobaan kedua menggunakan tangki pembilasan yang dilengkapi dengan sistem *water scrubber* dengan *droplet size* besar. Percobaan ketiga menggunakan tangki pembilasan yang dilengkapi dengan sistem pembilasan *water scrubber* dengan *droplet size* kecil.

Pada percobaan pertama, dimana percobaan tanpa tangki menunjukkan bahwa gas buang yang keluar dari tungku pembakaran insinerator memiliki kadar kepekatan asap (opasitas) yang tinggi. Kadar kepekatan asap (opasitas) gas buang dipengaruhi oleh ukuran *droplet size*, dari percobaan yang dilakukan menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran *droplet size* yang digunakan maka kadar opasitas yang dihasilkan akan semakin rendah. Hal ini dikarenakan jumlah butiran pada ukuran *droplet size* kecil mengandung jumlah butiran air yang jauh lebih banyak dibandingkan dengan *droplet size* besar, sehingga jumlah partikulat dari hasil pembakaran pada proses *impaction* dapat lebih banyak diserap oleh butiran air.

Pada proses pengujian diketahui bahwa variansi kadar kepekatan asap (opasitas) tertinggi terdapat pada menit ke-15 dikarenakan pada menit ke 15 ini terjadi peningkatan laju pembakaran. Pada menit ke-5 sampah yang terbakar 20%, sedangkan pada saat menit ke-15 sampah yang terbakar menjadi 50%.



Gambar 4.2 Hasil *Impaction* Air Terhadap Partikel Abu

Pada proses pengujian ini digunakan *Misting nozzle* yang bertipe *hollow cone*. Pada *misting nozzle* bertipe *hollow cone* terdapat ruang pemampatan air yang berpengaruh terhadap besar dan kecilnya ukuran *droplet size* yang menghasilkan butiran air. Sudut penyebaran butiran air pada tipe ini adalah 90^0 . *Droplet size* berukuran kecil bila ruang pemampatan air dalam *nozzle* diperkecil, sedangkan *droplet size* besar bila ruang pemampatan air besar. Ruang pemampatan dapat ditentukan menggunakan *adjuster* yang terdapat pada *nozzle*. Pada penelitian ini, peneliti menggunakan *adjuster min* dan *adjuster max*.

Berdasarkan hasil uji variansi, terdapat pengaruh *droplet size* pada pembilasan terhadap kadar partikulat gas buang. Adapun analisis pada pengujian sebagai berikut :

Analisis *Output* :

1. *Output Descriptives*

Tabel 4.1 *Descriptives* Opasitas Terhadap Pengujian

Descriptives								
Opasitas								
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
tanpa tangki	5	95,44%	4,0284	1,8016	90,438	100,442	89,0%	99,3%
droplet besar	5	85,42%	4,3298	1,9363	80,044	90,796	80,2%	92,1%
droplet kecil	5	78,00%	6,0212	2,6928	70,524	85,476	69,1%	84,6%
Total	15	86,28%	8,6641	2,2371	81,489	91,085	69,1%	99,3%

Pada tabel diatas, berdasarkan analisis *Output Descriptives* dapat diketahui hasil-hasil data statistic deskriptif yang meliputi mean , standar deviasi, standar

error, batas bawah, batas atas, angka terendah dan angka tertinggi. Pada bagian ini terlihat ringkasan statistik dari ketiga sampel.

2. *Output Test of Homogeneity of Variances*

Tabel 4.2 *Test of homogeneity variances opasitas*

Test of Homogeneity of Variances

Opasitas			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
,706	2	12	,513

Tes ini bertujuan untuk menguji berlaku tidaknya asumsi untuk Anova, yaitu apakah kelima sampel pengujian memiliki varians yang sama. Untuk mengetahui apakah asumsi bahwa ketiga kelompok sampel yang ada memiliki varian yang sama (homogen) dapat diterima atau tidak. Oleh karena itu sebelumnya perlu dipersiapkan hipotesis tentang hal tersebut. Adapun hipotesisnya adalah sebagai berikut :

- H_0 = Ketiga variansi populasi adalah sama
- H_1 = Ketiga variansi populasi adalah tidak sama

Dengan pengambilan Keputusan:

- Jika signifikan > 0.05 maka H_0 diterima
- Jika signifikan $< 0,05$ maka H_0 ditolak

Berdasarkan pada hasil yang diperoleh pada *test of homogeneity of variances*, dimana diketahui bahwa probabilitas atau signifikannya adalah 0,513 yang berarti lebih besar dari 0.05 maka dapat disimpulkan bahwa hipotesis nol

(H_0) diterima, yang berarti asumsi bahwa ketiga varian populasi adalah sama (homogeny) dapat diterima.

3. *Output Anova*

Tabel 4.3 *Anova (One Way Variance) Opasitas*

ANOVA					
Opasitas					
	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	766,017	2	383,009	16,131	,000
Within Groups	284,920	12	23,743		
Total	1050,937	14			

Setelah proses pengujian variansi untuk mengetahui kesamaan (homogeny) dari kelima varians terbukti sama, maka selanjutnya dilakukan uji *Anova* untuk menguji apakah kelima sampel mempunyai rata-rata yang sama. Pada hasil *Output Anova* dapat diketahui hasil perhitungan yang dapat digunakan sebagai penentuan analisis terhadap hipotesis yang akan diterima atau ditolak. Dalam hal ini hipotesis yang akan diuji adalah :

- H_0 = Tidak ada perbedaan rata-rata kadar opasitas dengan menggunakan jenis perlakuan yang berbeda. (Sama)
- H_1 = Ada perbedaan rata-rata kadar opasitas dengan menggunakan jenis perlakuan yang berbeda. (Tidak Sama)

Untuk menentukan H_0 atau H_a yang diterima maka ketentuan yang harus diikuti adalah sebagai berikut :

- Jika $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka H_0 ditolak
- Jika $F_{hitung} < F_{tabel}$ maka H_0 diterima
- Jika signifikan atau probabilitas > 0.05 , maka H_0 diterima

- Jika signifikan atau probabilitas $< 0,05$, maka H_0 ditolak

Berdasarkan pada hasil yang diperoleh pada uji *Anova*, dimana dilihat bahwa $F_{hitung} = 16,131 > F_{tabel} = 2,12$ yang berarti hipotesis H_0 ditolak dan hipotesis terhadap H_a dapat diterima. Sementara untuk nilai probabilitas dapat dilihat melalui nilai sebagai berikut $0,000 < 0,05$. Dengan demikian hipotesis nol (H_0) ditolak. Hal ini menunjukkan bahwa ada perbedaan rata-rata opasitas dengan menggunakan jenis perlakuan yang berbeda. Perlakuan tanpa tangki pembilasan, pembilasan dengan menggunakan *droplet size* besar dan pembilasan dengan menggunakan *droplet size* kecil memiliki pengaruh terhadap hasil opasitas yang dihasilkan.

4. Output Test Post Hoc

Tabel 4.4 Post Hoc Test Opasitas

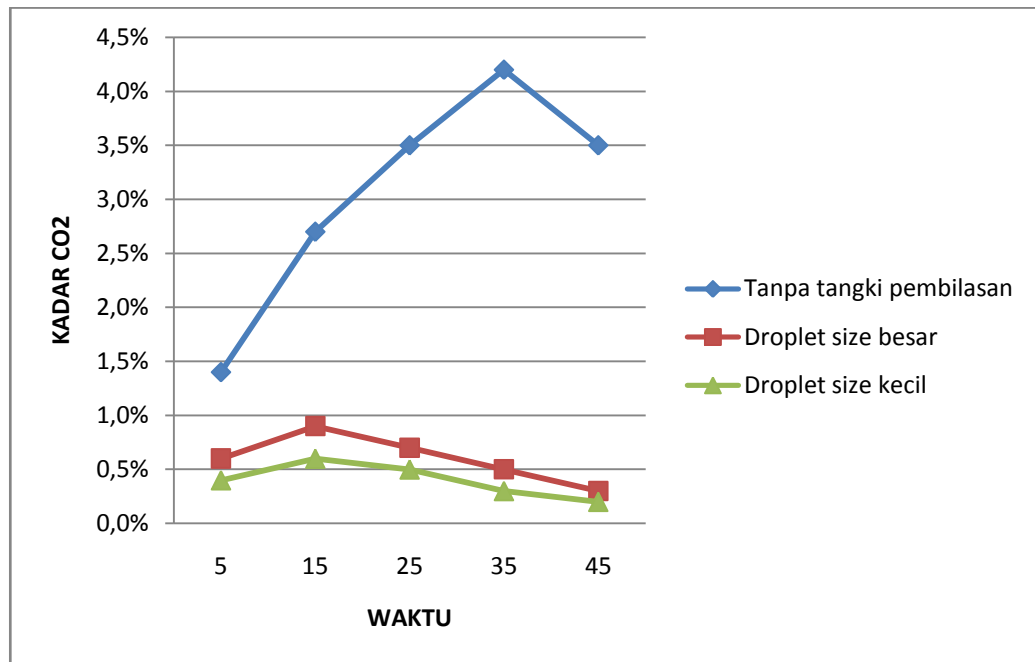
Multiple Comparisons							
Dependent Variable: Opasitas							
	(I) tes	(J) tes	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	tanpa tangki	droplet besar	10,0200*	3,0818	,018	1,798	18,242
		droplet kecil	17,4400*	3,0818	,000	9,218	25,662
	droplet besar	tanpa tangki	-10,0200*	3,0818	,018	-18,242	-1,798
		droplet kecil	7,4200	3,0818	,079	-,802	15,642
	droplet kecil	tanpa tangki	-17,4400*	3,0818	,000	-25,662	-9,218
		droplet besar	-7,4200	3,0818	,079	-15,642	,802
Bonferroni	tanpa tangki	droplet besar	10,0200*	3,0818	,021	1,454	18,586
		droplet kecil	17,4400*	3,0818	,000	8,874	26,006
	droplet besar	tanpa tangki	-10,0200*	3,0818	,021	-18,586	-1,454
		droplet kecil	7,4200	3,0818	,099	-1,146	15,986
	droplet kecil	tanpa tangki	-17,4400*	3,0818	,000	-26,006	-8,874
		droplet besar	-7,4200	3,0818	,099	-15,986	1,146

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Pada hasil analisis data statistik melalui tes *Post Hoc* yang dilakukan merupakan upaya untuk mengetahui kelompok mana yang berbeda dan yang tidak berbeda. Hal ini dapat diketahui apabila terdapat perbedaan pada hasil F hitungnya. Apabila pada F hitung menunjukkan tidak ada perbedaan, analisis

sesudah *anova* tidak perlu dilakukan. Dari tabel 4.4 diatas dapat dilihat bahwa perbedaan mean opasitas tanpa tangki dan penggunaan droplet size besar adalah 10.0200 (10.02%) jadi dapat disimpulkan bahwa kadar opasitas tanpa tangki lebih besar sebanyak 10.02% dibanding pembilasan dengan droplet besar. Data tersebut dapat diperoleh melalui hasil mean opasitas tanpa tangki yang diketahui sebesar 95.44% dan pembilasan dengan droplet besar yang diketahui sebesar 85.42% sehingga didapatkan 10.02% (dilihat pada *output descriptive statistics*). Perbedaan mean opasitas tanpa tangki dan pembilasan menggunakan *droplet size* kecil diketahui sebesar 17.4400 (17.44%) jadi dapat disimpulkan bahwa kadar opasitas tanpa tangki lebih besar sebanyak 17.44% dibandingkan pembilasan dengan droplet kecil. Data tersebut dapat diperoleh melalui hasil mean opasitas tanpa tangki yang diketahui sebesar 95.44% dan pembilasan dengan droplet kecil yang diketahui sebesar 78.00% sehingga didapatkan 17.44%. Untuk selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.5 *Post Hoc test* diatas untuk perbandingan opasitas seterusnya.

4.2.2 Pengaruh *Droplet Size* Terhadap Kadar CO₂ Gas Buang



Gambar 4.3 Diagram Kadar CO₂ Gas Buang

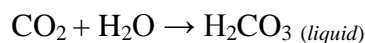
Pada tabel diatas deketahui bahwa konsentrasi CO₂ adalah perbandingan volume karbon dioksida (CO₂) yang terkandung di dalam gas buang dan dinyatakan dalam persen (%) yang diukur perdasarkan waktu pengujian. Pada tahap pengujian yang dilakukan dimana pengujian pertama dilakukan dengan pembakaran sampah pada insinerator tanpa tangki pembilasan. Berikutnya pengujian kedua dilakukan dengan menggunakan tangki pembilasan yang dilengkapi dengan sistem pembilasan *water scrubber* dengan *droplet size* besar. Pengujian ketiga dilakukan dengan menggunakan tangki pembilasan yang dilengkapi dengan sistem pembilasan *water scrubber* dengan *droplet size* kecil.

Pada proses pembakaran sampah yang dilakukan tentunya terdapat reaksi pembakaran sampah yang terjadi, seperti:

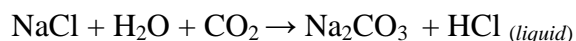


Nilai CO_2 pada pengujian tanpa tangki menunjukkan bahwa gas buang yang keluar dari tungku pembakaran insinerator memiliki konsentrasi CO_2 yang tinggi. Nilai konsentrasi CO_2 gas buang menggunakan tangki pembilasan yang dilengkapi sistem pembilasan *water scrubber* menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran *droplet size* air yang digunakan, maka semakin kecil juga kadar CO_2 yang dihasilkan pada gas buang yang keluar. Hal ini dikarenakan jumlah butiran pada *droplet size* kecil lebih banyak dibandingkan jumlah butiran pada *droplet size* besar, sehingga jumlah CO_2 yang dapat terlarut pada proses *impaction* antara kadar CO_2 dengan *droplet size* lebih banyak terserap oleh *droplet size* kecil.

Reaksi pelarutan air terhadap CO_2 :



Reaksi pelarutan air laut terhadap CO_2 :



Pada proses pembilasan, CO_2 yang terlarut pada air membentuk larutan senyawa asam karbonat (H_2CO_3) yang bersifat asam lemah. Pada tangki *recycle fluida* terdapat larutan asam karbonat yang berbentuk *liquid*. Sedangkan pada proses pembilasan yang menggunakan air laut (NaCl) maka menghasilkan atau membentuk senyawa natrium karbonat (Na_2CO_3) dan asam klorida (HCl) yang bersifat asam kuat. Pada tangki *recycle fluida* terdapat larutan asam klorida dan natrium karbonat yang berbentuk *liquid*.

Berdasarkan hasil uji variansi, terdapat pengaruh *droplet size* pada pembilasan terhadap kadar CO₂ gas buang. Adapun analisis pada pengujian sebagai berikut :

Analisis Output :

1. *Output Descriptives*

Tabel 4.5 Descriptives kadar CO₂ terhadap pengujian

CO2

Descriptives								
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
tanpa tangki	5	3,06%	1,0691	,4781	1,733	4,387	1,4%	4,2%
droplet besar	5	0,60%	,2236	,1000	,322	,878	,3%	,9%
droplet kecil	5	0,40%	,1581	,0707	,204	,596	,2%	,6%
Total	15	1,35%	1,3840	,3574	,587	2,120	,2%	4,2%

Pada tabel diatas, berdasarkan analisis *Output Descriptives* dapat diketahui hasil-hasil data statistic deskriptif yang meliputi mean , standar deviasi, standar error, batas bawah, batas atas, angka terendah dan angka tertinggi. Pada bagian ini terlihat ringkasan statistik dari ketiga sampel.

2. *Output Test of Homogeneity of Variances*

Tabel 4.6 Test of Homogeneity Variances Kadar CO₂

Test of Homogeneity of Variances			
CO2			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
6,357	2	12	,013

Tes ini bertujuan untuk menguji berlaku tidaknya asumsi untuk Anova, yaitu apakah kelima sampel pengujian memiliki varians yang sama. Untuk

mengetahui apakah asumsi bahwa ketiga kelompok sampel yang ada memiliki varian yang sama (homogen) dapat diterima atau tidak. Oleh karena itu sebelumnya perlu dipersiapkan hipotesis tentang hal tersebut. Adapun hipotesisnya adalah sebagai berikut :

- H_0 = Ketiga variansi populasi adalah sama
- H_1 = Ketiga variansi populasi adalah tidak sama

Dengan pengambilan Keputusan:

- Jika signifikan > 0.05 maka H_0 diterima
- Jika signifikan $< 0,05$ maka H_0 ditolak

Berdasarkan pada hasil yang diperoleh pada *test of homogeneity of variances*, dimana diketahui bahwa probabilitas atau signifikannya adalah 0,013 yang berarti lebih kecil dari 0.05 maka dapat disimpulkan bahwa hipotesis nol (H_0) ditolak, yang berarti asumsi bahwa ketiga varian populasi adalah sama (homogeny) dapat ditolak.

3. *Output Anova*

Tabel 4.7 Anova Kadar CO₂

ANOVA					
CO2					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	21,945	2	10,973	27,026	,000
Within Groups	4,872	12	,406		
Total	26,817	14			

Setelah proses pengujian variansi untuk mengetahui kesamaan (homogeny) dari kelima varians terbukti sama, maka selanjutnya dilakukan uji *Anova* untuk menguji apakah kelima sampel mempunyai rata-rata yang sama. Pada hasil *Output Anova* dapat diketahui hasil perhitungan yang dapat digunakan

sebagai penentuan analisis terhadap hipotesis yang akan diterima atau ditolak.

Dalam hal ini hipotesis yang akan diuji adalah :

- H_0 = Tidak ada perbedaan rata-rata kadar opasitas dengan menggunakan jenis perlakuan yang berbeda. (Sama)
- H_1 = Ada perbedaan rata-rata kadar opasitas dengan menggunakan jenis perlakuan yang berbeda. (Tidak Sama)

Untuk menentukan H_0 atau H_a yang diterima maka ketentuan yang harus diikuti adalah sebagai berikut :

- Jika $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka H_0 ditolak
- Jika $F_{hitung} < F_{tabel}$ maka H_0 diterima
- Jika signifikan atau probabilitas > 0.05 , maka H_0 diterima
- Jika signifikan atau probabilitas $< 0,05$, maka H_0 ditolak

Berdasarkan pada hasil yang diperoleh pada uji *Anova*, dimana dilihat bahwa $F_{hitung} = 27,026 > F_{tabel} = 2,12$ yang berarti hipotesis H_0 ditolak dan hipotesis terhadap H_a dapat diterima. Sementara untuk nilai probabilitas dapat dilihat melalui nilai sebagai berikut $0,000 < 0,05$. Dengan demikian hipotesis nol (H_0) ditolak. Hal ini menunjukkan bahwa ada perbedaan rata-rata opasitas dengan kadar CO_2 dengan menggunakan jenis perlakuan yang berbeda. Perlakuan tanpa tangki pembilasan, pembilasan dengan menggunakan *droplet size* besar dan pembilasan dengan menggunakan *droplet size* kecil memiliki pengaruh terhadap hasil kadar CO_2 yang dihasilkan

4. Output Tes Pos Hoc

Tabel 4.8. Post of Hoc Kadar CO₂

Multiple Comparisons

Dependent Variable: CO2

	(I) tes	(J) tes	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	tanpa tangki	droplet besar	2,4600*	,4030	,000	1,385	3,535
		droplet kecil	2,6600*	,4030	,000	1,585	3,735
	droplet besar	tanpa tangki	-2,4600*	,4030	,000	-3,535	-1,385
		droplet kecil	,2000	,4030	,874	-,875	1,275
	droplet kecil	tanpa tangki	-2,6600*	,4030	,000	-3,735	-1,585
		droplet besar	-,2000	,4030	,874	-1,275	,875
Bonferroni	tanpa tangki	droplet besar	2,4600*	,4030	,000	1,340	3,580
		droplet kecil	2,6600*	,4030	,000	1,540	3,780
	droplet besar	tanpa tangki	-2,4600*	,4030	,000	-3,580	-1,340
		droplet kecil	,2000	,4030	1,000	-,920	1,320
	droplet kecil	tanpa tangki	-2,6600*	,4030	,000	-3,780	-1,540
		droplet besar	-,2000	,4030	1,000	-1,320	,920

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Pada hasil analisis data statistik melalui tes *Post Hoc* yang dilakukan merupakan upaya untuk mengetahui kelompok mana yang berbeda dan yang tidak berbeda. Hal ini dapat diketahui apabila terdapat perbedaan pada hasil F hitungnya. Apabila pada F hitung menunjukkan tidak ada perbedaan, analisis sesudah *anova* tidak perlu dilakukan. Dari tabel 4.10 diatas dapat dilihat bahwa perbedaan mean kadar CO₂ tanpa tangki dan penggunaan droplet size besar adalah 2.4600 (2.46%) jadi dapat disimpulkan bahwa kadar CO₂ tanpa tangki lebih besar sebanyak 2.46% dibanding pembilasan dengan droplet besar. Data tersebut dapat diperoleh melalui hasil mean kadar CO₂ tanpa tangki yang diketahui sebesar 3.06% dan pembilasan dengan droplet besar yang diketahui sebesar 0.60% sehingga didapatkan 2.46% (dilihat pada *output descriptive statistics*). Perbedaan mean kadar CO₂ tanpa tangki dan pembilasan menggunakan *droplet size* kecil diketahui sebesar 2.6600 (2.66%) jadi dapat disimpulkan bahwa kadar CO₂ tanpa tangki lebih besar sebanyak 2.66% dibandingkan pembilasan

dengan droplet kecil. Data tersebut dapat diperoleh melalui hasil mean kadar CO₂ tanpa tangki yang diketahui sebesar 3.06% dan pembilasan dengan droplet kecil yang diketahui sebesar 0.40% sehingga didapatkan 2.66%. Untuk selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.5 *Post Hoc test* diatas untuk perbandingan opasitas seterusnya.

4.2.3 Pengaruh *Droplet Size Terhadap Suhu*

Tabel 4.9. Pengukuran Suhu Gas Buang

Waktu	Tanpa Tangki	Tangki (Droplet size besar)		Tangki (Droplet size kecil)	
		in	Out	In	Out
Menit ke-5	50°C	50°C	33°C	50°C	31°C
Menit ke-15	50°C	50°C	35°C	50°C	33°C
Menit ke-25	50°C	50°C	33°C	50°C	34°C
Menit ke-35	50°C	50°C	32°C	50°C	33°C
Menit ke-45	50°C	50°C	32°C	50°C	32°C

Pada tabel diatas, suhu gas buang saat keluar dari cerobong tungku pembakaran adalah 50°C, sedangkan suhu gas buang yang keluar dari cerobong tangki 32°C. Terbukti bahwa penggunaan *Water scrubber* dapat menurunkan suhu sisa hasil pembakaran sedangkan penggunaan *droplet size* tidak mempengaruhi penurunan pada suhu gas buang yang keluar dari cerobong tangki. Pada pembilasan menggunakan *droplet size* besar dan *droplet size* kecil, suhu gas buang yang keluar dari cerobong tangki memiliki nilai yang relatif sama.

4.2.4 Pengaruh *Droplet Size* Terhadap Warna Gas Buang

Tabel 4.10. Pengamatan Warna Asap

Pengujian	Keterangan
Tanpa Tangki Pembilasan	 <p>Gas buang berwarna abu dan berbau sengat</p>
Pembilasan Droplet size Besar	 <p>Gas buang berwarna putih, samar tercium bau sengat</p>
Pembilasan Droplet size Kecil	 <p>Gas buang berwarna putih, samar terlihat dan tidak berbau sengat</p>

Pada tabel 4.10 diatas, diketahui bahwa gas buang hasil pembakaran tanpa tangki memiliki warna gas buang hitam pekat menunjukan kadar opasitas tinggi dan berbau sengat. Pada pembilasan menggunakan *droplet size* besar, warna gas

buang hasil pembakaran tidak hitam pekat dan samar terlihat. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan kadar opasitas gas buang yang keluar dari cerobong tangki yang diakibatkan oleh sistem pembilasan *water scrubber*, dan juga tidak menimbulkan bau yang terlalu sengat. Pada pembilasan menggunakan *droplet size* kecil, dihasilkan warna gas buang yang putih, samar terlihat dan tidak berbau sengat. Hal ini menunjukkan bahwa gas buang pembilasan menggunakan *droplet size* kecil memiliki kadar opasitas dan kadar CO₂ lebih sedikit daripada gas buang pembilasan menggunakan *droplet size* besar dan tanpa pembilasan.

4.2.5 Perbandingan Penggunaan Media Air dan Air Laut (NaCl) Terhadap Kadar Opasitas

Pada proses pengujian diketahui bahwa pengujian yang dilakukan menggunakan media air laut sebagai sistem recycle fluida, dimana diketahui bahwa penggunaan air laut memiliki daya serap yang lebih baik pada sistem recycle fluida dibandingkan dengan menggunakan air saja. Dari hasil pengujian diketahui perbandingan penggunaan air laut (NaCl) dan air terhadap kadar opasitas gas buang adalah sebagai berikut:

Tabel 4.11. Perbandingan Kadar Opasitas

Waktu (menit)	Penggunaan Air Laut (NaCl)		Penggunaan Air (H ₂ O)	
	<i>Droplet size</i> besar	<i>Droplet size</i> kecil	<i>Droplet size</i> besar	<i>Droplet size</i> kecil
5	84.3%	81.0%	86.2%	84.6%
15	92.1%	84.6%	97.7%	89.6%
25	86.2%	80.2%	94.3%	84.3%
35	84.3%	75.1%	92.1%	80.2%
45	80.2%	69.1%	89.0%	79.6%

Dari tabel di atas diketahui bahwa kadar opasitas berkurang lebih signifikan pada saat menggunakan media air laut (NaCl) dibandingkan menggunakan air (H₂O). Hal ini dikarenakan kadar air laut memiliki daya serap yang lebih baik terhadap kadar opasitas pada saat proses penyerapan terjadi.

4.2.6 Perbandingan Penggunaan Media Air dan Air Laut (NaCl) Terhadap Kadar CO₂

Dari hasil pengujian diketahui perbandingan penggunaan air laut (NaCl) dan air terhadap kadar CO₂ pada gas buang adalah sebagai berikut:

Tabel 4.12. Perbandingan Kadar CO₂

Waktu (menit)	Penggunaan Air Laut (NaCl)		Penggunaan Air (H ₂ O)	
	<i>Droplet size</i> besar	<i>Droplet size</i> kecil	<i>Droplet size</i> besar	<i>Droplet size</i> kecil
5	0.6%	0.4%	0.8%	0.6%
15	0.9%	0.6%	1.3%	1.2%
25	0.7%	0.5%	0.9%	0.6%
35	0.5%	0.3%	0.7%	0.5%
45	0.3%	0.3%	0.6%	0.5%

Dari tabel di atas diketahui bahwa kadar CO₂ berkurang lebih signifikan pada saat menggunakan media air laut (NaCl) dibandingkan menggunakan air (H₂O). Hal ini dikarenakan kadar air laut memiliki daya serap yang lebih baik terhadap kadar CO₂ pada saat proses penyerapan terjadi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode pembilasan menggunakan sistem *water scrubber* yang menggunakan media air laut (NaCl) pada tangki pembilasan mampu menurunkan kadar opasitas, CO₂, suhu dan warna pada gas buang pembakaran pada insinerator. Pembilasan system *water scrubber* dilengkapi dengan 4 buah *misting nozzle* bertipe *hollow cone* dengan sudut penyerapan 90°.
2. Dari data hasil penelitian didapatkan penurunan kadar opasitas yang efektif sebesar 17.44 %, dimana pada percobaan tanpa tangki dengan mean opasitas yang dihasilkan sebesar 95.44%, sedangkan pada pembilasan dengan droplet size kecil mean opasitas sebesar 78.00%.
3. Penurunan pada kadar CO₂ yang efektif adalah dengan menggunakan droplet size kecil. Dimana pada percobaan tanpa tangki mean kadar CO₂ 3,06%, sedangkan pembilasan dengan menggunakan droplet size kecil mean pada kadar CO₂ sebesar 0,42%. Maka penurunan kadar CO₂ yang terjadi 2,64%.
4. Pembilasan dengan menggunakan system *water scrubber* yang menggunakan *droplet size* kecil lebih efektif dibandingkan dengan droplet ukuran besar, dikarenakan jumlah butiran yang dihasilkan lebih banyak dibandingkan dengan penggunaan *droplet size* besar.

5. Proses pembilasan menggunakan sistem *water scrubber* yang menggunakan media air laut (NaCl) lebih efektif dibandingkan dengan menggunakan air (H₂O), terbukti penurunan kadar opasitas, kadar CO₂ dan suhu lebih signifikan dibandingkan dengan menggunakan air(H₂O).

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya, diharapkan dapat memanfaatkan panas dari tungku pembakaran sebagai pembangkit listrik, sehingga alat insenerator tersebut lebih praktis untuk digunakan dan dapat memiliki sistem penyalur daya listrik tersendiri yang memanfaatkan suhu panas pada tungku pembakaran.
2. Kadar kepekatan opasitas bisa diturunkan dengan menggunakan jenis *nozzle* yang memiliki droplet size lebih kecil.

DAFTAR PUSTAKA

Bruner, C.R. *handbook of incineration system*. (Newyork: McGraw-Hill, Inc. 1993).

Khairumizan, Panji. *Studi eksperimental implementasi venturi scrubber pada system gasifikasi batu bara*. (Depok: Departemen Kementrian Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. 2008).

Munson, Bruce R. *Mekanika fluida edisi keempat jilid II*. (Jakarta: Erlangga. 2003).

Nevers, DE. *air pollution control engineering*. (singapore: McGraw-Hill, Inc. 1995).

Peavy, S.H. *environmental engineering*. (Newyork: McCraw-Hill, Inc. 1985).

Tchobanoglous, george. *Intergrated solid waste management: engineering principles and management issue*. (Michigan: McGraw-Hill, Inc: 1993).

Tonggok, Robinson. *Perancangan Insinerator berkapasitas $1\text{m}^3/\text{jam}$* . (Depok: Departemen Teknik Mesin Falkutas Teknik Universitas Indonesia. 2005).

Wiley, John. *PHYSICS 3rd Edition*. (jakarta: Erlangga. 1998).

LAMPIRAN 1

Dust Meter		Dust Meter		Dust Meter	
2017-12-6	14:45:25	2017-12-18	11:41:31	2017-11-21	14:46:12
K Peak :	4.86	K Peak :	4.11	K Peak :	3.86
Opacity Peak :	89.0%	Opacity Peak :	84.3%	Opacity Peak :	81.0%
RPM Peak :	0	RPM Peak :	0	RPM Peak :	0
Oil Temp Peak :	0 °C	Oil Temp Peak :	0 °C	Oil Temp Peak :	0 °C
Dust Meter		Dust Meter		Dust Meter	
2017-12-6	14:55:37	2017-12-18	11:51:37	2017-11-21	14:56:54
K Peak :	9.78	K Peak :	5.90	K Peak :	4.29
Opacity Peak :	99.3%	Opacity Peak :	92.1%	Opacity Peak :	84.6%
RPM Peak :	0	RPM Peak :	0	RPM Peak :	0
Oil Temp Peak :	0 °C	Oil Temp Peak :	0 °C	Oil Temp Peak :	0 °C
Dust Meter		Dust Meter		Dust Meter	
2017-12-6	15: 5:18	2017-12-18	12: 1:30	2017-11-21	15: 6:43
K Peak :	8.77	K Peak :	4.60	K Peak :	3.89
Opacity Peak :	97.7%	Opacity Peak :	86.2%	Opacity Peak :	80.2%
RPM Peak :	0	RPM Peak :	0	RPM Peak :	0
Oil Temp Peak :	0 °C	Oil Temp Peak :	0 °C	Oil Temp Peak :	0 °C
Dust Meter		Dust Meter		Dust Meter	
2017-12-6	15:15:43	2017-12-18	12:11:38	2017-11-21	15:16:27
K Peak :	8.60	K Peak :	4.11	K Peak :	3.29
Opacity Peak :	96.9%	Opacity Peak :	84.3%	Opacity Peak :	75.1%
RPM Peak :	0	RPM Peak :	0	RPM Peak :	0
Oil Temp Peak :	0 °C	Oil Temp Peak :	0 °C	Oil Temp Peak :	0 °C
Dust Meter		Dust Meter		Dust Meter	
2017-12-6	15:25:41	2017-12-18	12:21:28	2017-11-21	15:26:34
K Peak :	6.78	K Peak :	3.89	K Peak :	2.73
Opacity Peak :	94.3%	Opacity Peak :	80.2%	Opacity Peak :	69.1%
RPM Peak :	0	RPM Peak :	0	RPM Peak :	0
Oil Temp Peak :	0 °C	Oil Temp Peak :	0 °C	Oil Temp Peak :	0 °C

LAMPIRAN 2

Emission Analyzer	Emission Analyzer	Emission Analyzer
2017/12/06 PM 02:45 CAR NUMBER : 0000 CO : 0.53% HC : 148 ppm CO2 : 1.4% O2 : 19.26% Nox : 264 ppm LAMBDA : 2.000 AFR : 0.0 FUEL : GASOLINE H/C : 1.8500 O/C : 0.0000	2017/12/18 AM 11:41 CAR NUMBER : 0000 CO : 0.02% HC : 0 ppm CO2 : 0.6% O2 : 25.00% Nox : 0 ppm LAMBDA : 2.000 AFR : 0.0 FUEL : GASOLINE H/C : 1.8500 O/C : 0.0000	2017/11/21 PM 02:46 CAR NUMBER : 0000 CO : 0.04% HC : 0 ppm CO2 : 0.4% O2 : 21.26% Nox : 0 ppm LAMBDA : 2.000 AFR : 0.0 FUEL : GASOLINE H/C : 1.8500 O/C : 0.0000
Emission Analyzer	Emission Analyzer	Emission Analyzer
2017/12/06 PM 02:55 CAR NUMBER : 0000 CO : 0.67% HC : 152 ppm CO2 : 2.7% O2 : 19.23% Nox : 387 ppm LAMBDA : 2.000 AFR : 0.0 FUEL : GASOLINE H/C : 1.8500 O/C : 0.0000	2017/12/18 AM 11:51 CAR NUMBER : 0000 CO : 0.06% HC : 0 ppm CO2 : 0.9% O2 : 21.28% Nox : 0 ppm LAMBDA : 2.000 AFR : 0.0 FUEL : GASOLINE H/C : 1.8500 O/C : 0.0000	2017/11/21 PM 02:56 CAR NUMBER : 0000 CO : 0.02% HC : 0 ppm CO2 : 0.6% O2 : 25.00% Nox : 0 ppm LAMBDA : 2.000 AFR : 0.0 FUEL : GASOLINE H/C : 1.8500 O/C : 0.0000
Emission Analyzer	Emission Analyzer	Emission Analyzer
2017/12/06 PM 03:05 CAR NUMBER : 0000 CO : 0.47% HC : 134 ppm CO2 : 3.5% O2 : 20.56% Nox : 5000 ppm LAMBDA : 2.000 AFR : 0.0 FUEL : GASOLINE H/C : 1.8500 O/C : 0.0000	2017/12/18 PM 12:01 CAR NUMBER : 0000 CO : 0.01% HC : 0 ppm CO2 : 0.7% O2 : 25.00% Nox : 0 ppm LAMBDA : 2.000 AFR : 0.0 FUEL : GASOLINE H/C : 1.8500 O/C : 0.0000	2017/11/21 PM 03:06 CAR NUMBER : 0000 CO : 0.07% HC : 0 ppm CO2 : 0.5% O2 : 21.28% Nox : 0 ppm LAMBDA : 2.000 AFR : 0.0 FUEL : GASOLINE H/C : 1.8500 O/C : 0.0000
Emission Analyzer	Emission Analyzer	Emission Analyzer

2017/12/06 PM 03:15	2017/12/18 PM 12:11	2017/11/21 PM 03:16
CAR NUMBER : 0000	CAR NUMBER : 0000	CAR NUMBER : 0000
CO : 0.52%	CO : 0.07%	CO : 0.00%
HC :	HC : 0 ppm	HC : 0 ppm
CO2 : 4.2%	CO2 : 0.5%	CO2 : 0.3%
O2 : 19.42%	O2 : 21.28%	O2 : 25.00%
Nox : 500 ppm	Nox : 0 ppm	Nox : 0 ppm
LAMBDA : 2.000	LAMBDA : 2.000	LAMBDA : 2.000
AFR : 0.0	AFR : 0.0	AFR : 0.0
FUEL : GASOLINE	FUEL : GASOLINE	FUEL : GASOLINE
H/C : 1.8500	H/C : 1.8500	H/C : 1.9500
O/C : 0.0000	O/C : 0.0000	O/C : 0.0000
Emission Analyzer	Emission Analyzer	Emission Analyzer
2017/12/06 PM 03:25	2017/12/18 PM 12:21	2017/11/21 PM 03:26
CAR NUMBER : 0000	CAR NUMBER : 0000	CAR NUMBER : 0000
CO : 0.47%	CO : 0.00%	CO : 0.00%
HC : 134 ppm	HC : 0 ppm	HC : 0 ppm
CO2 : 3.5%	CO2 : 0.3%	CO2 : 0.2%
O2 : 20.56%	O2 : 25.00%	O2 : 21.26%
Nox : 5000 ppm	Nox : 0 ppm	Nox : 0 ppm
LAMBDA : 2.000	LAMBDA : 2.000	LAMBDA : 2.000
AFR : 0.0	AFR : 0.0	AFR : 0.0
FUEL : GASOLINE	FUEL : GASOLINE	FUEL : GASOLINE
H/C : 1.8500	H/C : 1.9500	H/C : 1.8500
O/C : 0.0000	O/C : 0.0000	O/C : 0.0000

LAMPIRAN 3

Insinerator Sampah



LAMPIRAN 4

Hasil *Impaction* Air Terhadap Partikel Abu



LAMPIRAN 5

Alat Pengujian Kadar Salinitas



LAMPIRAN 6

Tabel Pengukuran Opasitas Gas Buang

Waktu (menit)	Tanpa Tangki	<i>Droplet size</i> besar	<i>Droplet size</i> kecil
5	89.0%	84.3%	81.0%
15	99.3%	92.1%	84.6%
25	97.7%	86.2%	80.2%
35	96.9%	84.3%	75.1%
45	94.3%	80.2%	69.1%

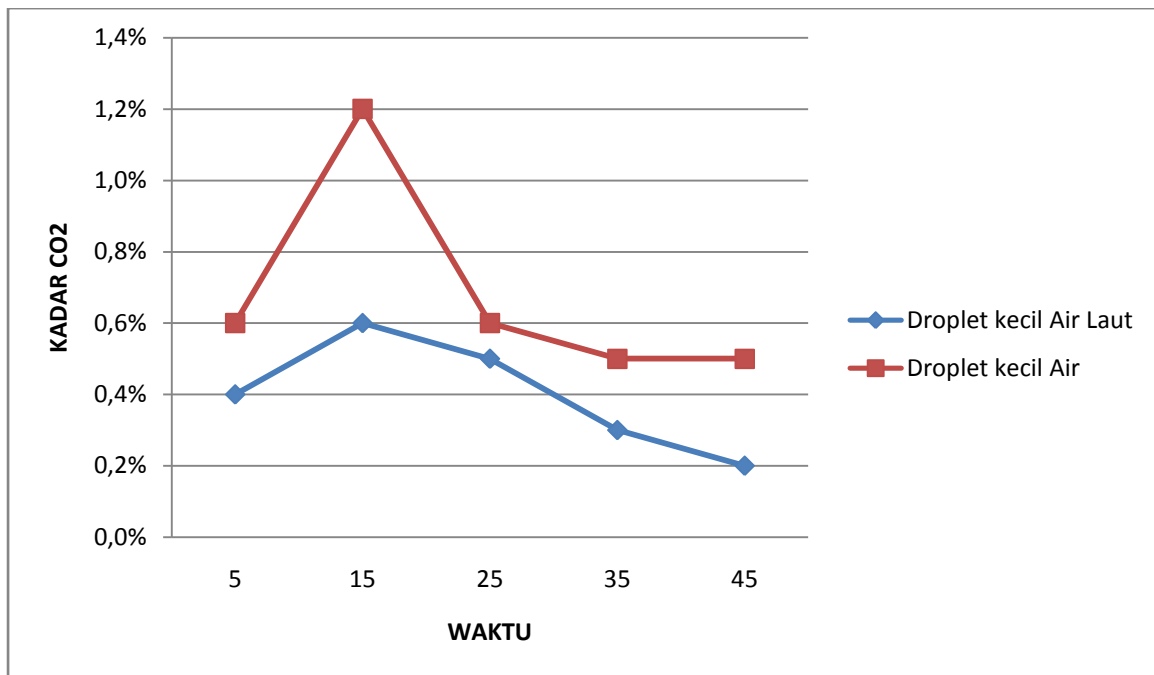
LAMPIRAN 7

Tabel Pengukuran Kadar CO₂ Gas Buang

Waktu (menit)	Tanpa Tangki	Droplet size besar	Droplet size kecil
5	1.4%	0.6%	0.4%
15	2.7%	0.9%	0.6%
25	3.5%	0.7%	0.5%
35	4.2%	0.5%	0.3%
45	3.5%	0.3%	0.2%

LAMPIRAN 8

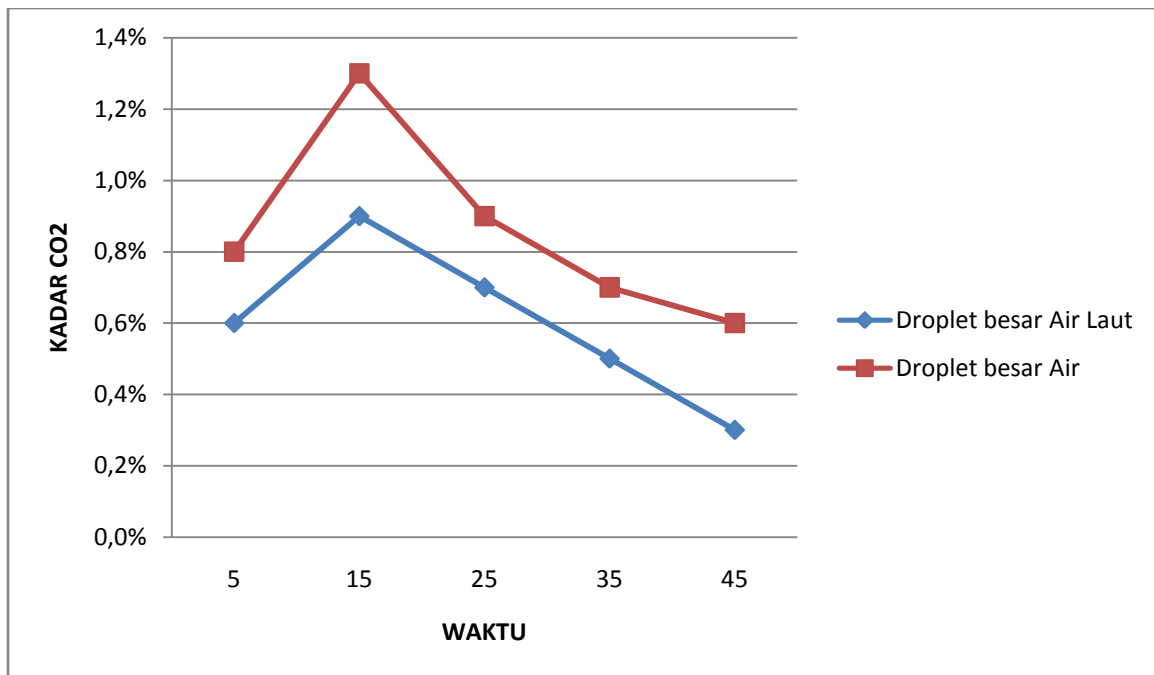
Grafik perbandingan Kadar CO₂ dengan Media Air Laut dan Air



Waktu (menit)	Penggunaan Air Laut (NaCl)	Penggunaan Air (H ₂ O)
	<i>Droplet size</i> kecil	<i>Droplet size</i> kecil
5	0.4%	0.6%
15	0.6%	1.2%
25	0.5%	0.6%
35	0.3%	0.5%
45	0.2%	0.5%

LAMPIRAN 9

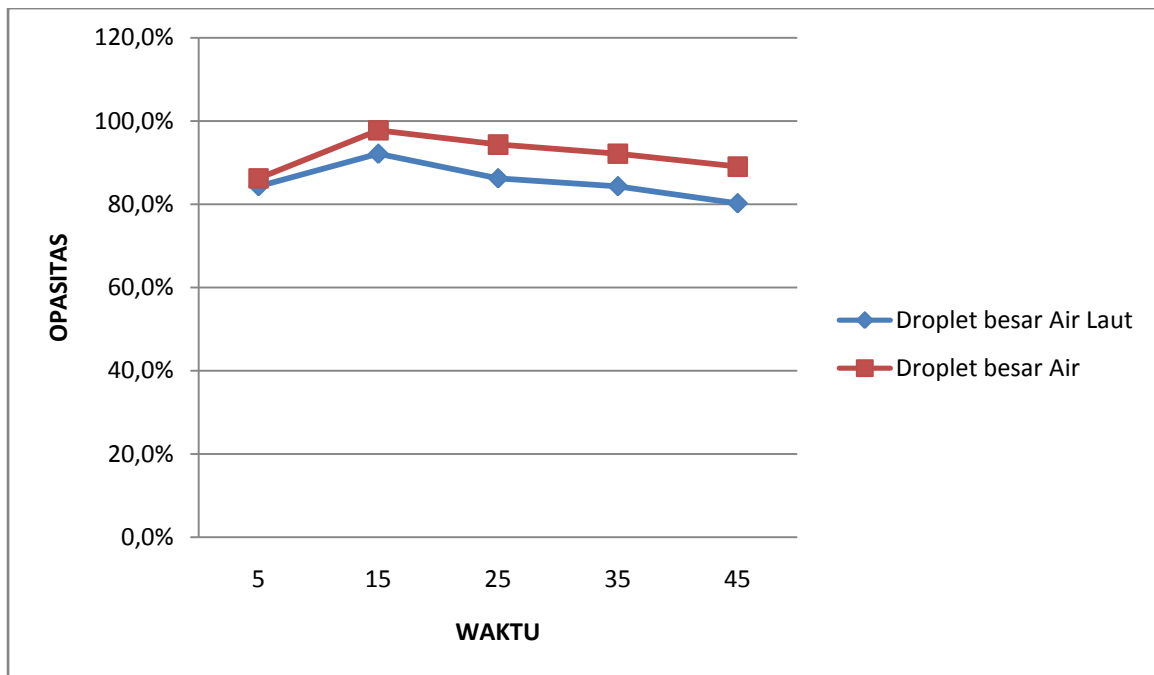
Grafik perbandingan Kadar CO₂ dengan Media Air Laut dan Air



Waktu (menit)	Penggunaan Air Laut (NaCl)	Penggunaan Air (H ₂ O)
	<i>Droplet size</i> besar	<i>Droplet size</i> besar
5	0.6%	0.8%
15	0.9%	1.3%
25	0.7%	0.9%
35	0.5%	0.7%
45	0.3%	0.6%

LAMPIRAN 10

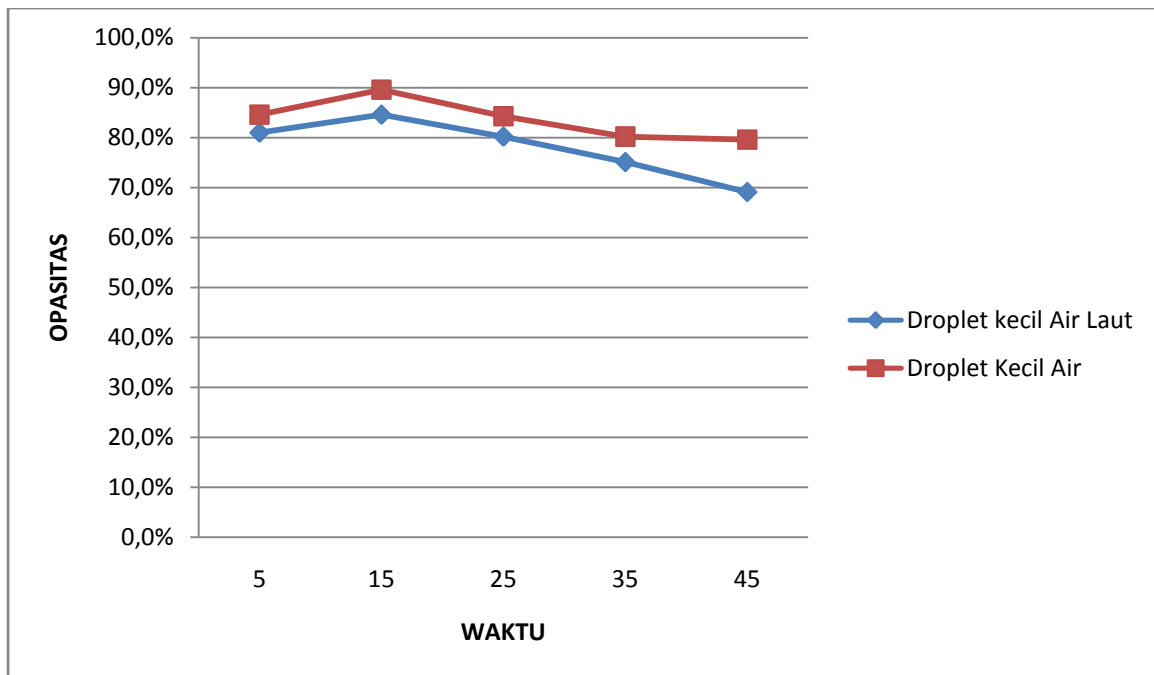
Grafik perbandingan Kadar Opasitas dengan Media Air Laut dan Air



Waktu (menit)	Penggunaan Air Laut (NaCl)	Penggunaan Air (H ₂ O)
	<i>Droplet size</i> besar	<i>Droplet size</i> besar
5	84.3%	86.2%
15	92.1%	97.7%
25	86.2%	94.3%
35	84.3%	92.1%
45	80.2%	89.0%

LAMPIRAN 11

Grafik perbandingan Kadar Opasitas dengan Media Air Laut dan Air



Waktu (menit)	Penggunaan Air Laut (NaCl)	Penggunaan Air (H ₂ O)
	<i>Droplet size</i> Kecil	<i>Droplet size</i> Kecil
5	81.0%	84.6%
15	84.6%	89.6%
25	80.2%	84.3%
35	75.1%	80.2%
45	69.1%	79.6%

RIWAYATHIDUP



Zikrayn Perkasa, lahir di Bogor pada 1 Agustus 1995. Putra pertama dari 3 bersaudara. Tinggal di perumahan selakopi hijau blok B no.3, kecamatan pasir mulya, Bogor Barat, Bogor. Memulai pendidikan dari taman kanak – kanak di kab.Bogor. Kemudian melanjutkan sekolah di SDN Bojong Rangkas 02 , kab.bogor pada tahun 2000 – 2006. Selanjutnya diterima di SMP N 1 Ciampea, kab.bogor pada 2006 – 2009, setelah itu melanjutkan kembali sekolah di SMA N 9 Bogor pada 2009 – 2012, kemudian lulus dari SMA N 9 Bogor dan diterima melalui jalur SBMPTN di Universitas Negeri Jakarta, Fakultas Teknik, Program Studi Pendidikan Teknik Mesin. Semasa kuliah penulis memiliki

pengalaman pada bidang kerja saat melakkan PKL di PT. GMFAA Cengkareng, Banten, serta pengalaman mengajar saat melakukan PKM di SMK N 26 Jakarta pada tahun 2015. Moto hidup penulis “Life is all about making Choices. Always do your best to makes the right ones & always do your best to learn from the wrong one. And that’s all gonna be done if you choose to Surrender”.